

---

# **DIPLOMARBEIT**

---

Herr Ing.  
**Michael Lahner**

## **Wirtschaftlichkeitsanalyse über den Einsatz von regenerativen Energien in Einfamilienhäusern**

Pyhra, 2013

---

# **DIPLOMARBEIT**

---

## **Wirtschaftlichkeitsanalyse über den Einsatz von regenerativen Energien in Einfamilienhäusern**

Autor:

**Herr Ing.  
Michael Lahner**

Studiengang:

**Wirtschaftsingenieurwesen**

Seminargruppe:

**KW09w2NA**

Erstprüfer:

**Prof. Dr. rer. oec. Johannes N. Stelling**

Zweitprüfer:

**Prof. Mag. Erich Greistorfer**

Einreichung:

**Mittweida, Juni 2013**

Verteidigung/Bewertung:

**Neufeld an der Leitha, 2013**

---

# **DIPLOMA THESIS**

---

## **Economic Analysis to the use of renewable energy for single-family houses**

author:

**Mr. Ing.**

**Michael Lahner**

course of studies:

**Business Engineering**

seminar group:

**KW09w2NA**

first examiner:

**Prof. Dr. rer. oec. Johannes N. Stelling**

second examiner:

**Prof. Mag. Erich Greistorfer**

submission:

**Mittweida, June 2013**

defence/ evaluation:

**Neufeld an der Leitha, 2013**

## **Bibliografische Beschreibung:**

Lahner, Michael:

Wirtschaftlichkeitsanalyse über den Einsatz von regenerativen Energien in Einfamilienhäusern. - 2013. - VII, 79, XIV S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Wirtschaftswissenschaften, Diplomarbeit, 2013

## **Referat:**

Vor dem Hintergrund der zur Neige gehenden fossilen Rohstoffe und der damit verbundenen steigenden Energiepreise nimmt das Bewusstsein der Konsumenten für den Wert der Energie zu, und die Suche nach Alternativen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Gerade in privaten Haushalten nehmen die Energiekosten einen maßgeblichen Anteil an den laufenden Ausgaben ein.

Die vorliegende Arbeit befasst sich deshalb mit einer Wirtschaftlichkeitsanalyse über den Einsatz von regenerativen Energien in Einfamilienhäusern. Der Schwerpunkt der theoretischen Abhandlung liegt in der Beschreibung des Funktionsprinzips ausgewählter erneuerbarer Energiequellen. Der Hauptteil der Arbeit beschäftigt sich mit der Durchführung einer Wirtschaftlichkeitsanalyse anhand eines konkreten Praxisfalls, in dem die Errichtung und der Betrieb einer Anlage im regenerativen Bereich den Vergleich mit einer konventionellen Energieversorgung antritt.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>Formelverzeichnis.....</b>	<b>VI</b>
<b>1. EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung.....	1
1.2 Ziele .....	2
1.3 Methodisches Vorgehen .....	3
<b>2. WIRTSCHAFTLICHKEITSANALYSE .....</b>	<b>4</b>
2.1 Grundlagen .....	4
2.2 Angewandte Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	5
<b>3. BESCHREIBUNG DER AUSGANGSLAGE.....</b>	<b>7</b>
<b>4. ERNEUERBARE ENERGIEQUELLEN.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Geothermie.....</b>	<b>12</b>
4.1.1 Funktionsprinzip.....	12
4.1.2 Bezug auf den konkreten Fall .....	16
4.1.3 Berechnung .....	19
<b>4.2 Sonnenstrahlung.....</b>	<b>22</b>
4.2.1 Solarthermie.....	25
4.2.1.1 Funktionsprinzip .....	25
4.2.1.2 Bezug auf den konkreten Fall .....	29
4.2.1.3 Berechnung.....	35
4.2.2 Photovoltaik .....	37
4.2.2.1 Funktionsprinzip .....	37
4.2.2.2 Bezug auf den konkreten Fall .....	41
4.2.2.3 Berechnung.....	49
<b>4.3 Biomasse .....</b>	<b>52</b>
4.3.1 Funktionsprinzip.....	52
4.3.2 Bezug auf den konkreten Fall .....	55
4.3.3 Berechnung .....	57

<b>5. NICHT ERNEUERBARE ENERGIEQUELLEN .....</b>	<b>60</b>
5.1 Ölbrennwertanlage.....	60
5.2 Gasbrennwertanlage .....	62
<b>6. VERGLEICH DER ALTERNATIVEN.....</b>	<b>65</b>
6.1 Gegenüberstellung.....	65
6.1.1 Heizkostenvergleich .....	65
6.1.2 Stromkostenvergleich .....	68
6.2 Optimierungspotenzial .....	71
6.2.1 Heizkostenoptimierung .....	71
6.2.2 Stromkostenoptimierung .....	73
<b>7. SCHLUSSBETRACHTUNG.....</b>	<b>76</b>
7.1 Ergebnisinterpretation.....	76
7.2 Fazit .....	78
7.3 Ausblick .....	79
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>VIII</b>
<b>Selbstständigkeitserklärung .....</b>	<b>XIV</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Arten von Investitionsrechenverfahren .....	5
Abb. 2: Energiepreisentwicklung seit 1970 im Vergleich .....	10
Abb. 3: Energiepreisentwicklung von Pellets und Hackschnitzel.....	11
Abb. 4: Funktionsweise von Erdwärmekollektoren .....	13
Abb. 5: Funktionsweise von Erdwärmesonden.....	14
Abb. 6: Funktionsweise von Grundwasserbrunnen .....	15
Abb. 7: Bodentyp des Grundstücks .....	16
Abb. 8: Feuchtigkeitsgrad des Grundstückbodens .....	17
Abb. 9: Regionale Grundwasservorkommen .....	17
Abb. 10: Langjähriges Mittel der Bestrahlungswerte in Europa .....	23
Abb. 11: Aufteilung von Diffus- und Direktstrahlung bezogen auf die Globalstrahlung. ....	23
Abb. 12: Sonnenweg-Diagramm Beispiel für einen Standort mit 48° nördlicher Breite. ....	24
Abb. 13: Schematische Darstellung eines Flachkollektors. ....	26
Abb. 14: Schematische Darstellung eines Vakuumkollektors.....	27
Abb. 15: Solarthermisches System mit separater Heizungsunterstützung. ....	28
Abb. 16: Solarthermisches System ohne zusätzliche Heizungsunterstützung. ....	29
Abb. 17: Verteilung der langjährigen Globalstrahlungsmittelwerte in Österreich.....	29
Abb. 18: Ertragsprognose für einen durchschnittlichen österreichischen Standort .....	30
Abb. 19: Wärmekosten in Abhängigkeit vom solaren Deckungsgrad.....	32
Abb. 20: Abhängigkeit des Systemnutzungsgrades vom solaren Deckungsgrad. ....	33
Abb. 21: Wirkungsgrad der Kollektoren in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur. ....	33
Abb. 22: Schematische Darstellung einer Photovoltaikzelle.....	38
Abb. 23: Temperaturabhängiges Kennlinienfeld eines Solarmoduls. ....	38
Abb. 24: Schema einer netzgekoppelten Anlage.....	39
Abb. 25: Schema einer Inselanlage.....	40
Abb. 26: Einspeisevergütung in Deutschland abhängig vom Inbetriebnahmezeitpunkt. ....	42
Abb. 27: Netzgekoppeltes Photovoltaiksystem mit Batteriespeicher. ....	44
Abb. 28: Tagesablauf eines durchschnittlichen Haushalts mit Energiedepot. ....	44
Abb. 29: Ergebnisse einer Berechnung auf der Homepage des PVGIS. ....	46
Abb. 30: Tagesverlauf eines durchschnittlichen Haushalts mit Solarstromerzeugung. ....	47
Abb. 31: Pelletsheizung mit angrenzendem Lagerraum. ....	52
Abb. 32: Kostenentwicklung der Heizungssysteme .....	66
Abb. 33: Kostenentwicklung der Heizungssysteme mit niedrigem Preissteigerungsniveau .....	67
Abb. 34: Kostenentwicklung der Heizungssysteme mit hohem Preissteigerungsniveau.....	67
Abb. 35: Kostenentwicklung von Strombezugsalternativen .....	69
Abb. 36: Kostenentwicklung von Strombezugsalternativen mit niedrigem Preissteigerungsniveau .....	70
Abb. 37: Kostenentwicklung von Strombezugsalternativen mit hohem Preissteigerungsniveau.....	70
Abb. 38: Kostenentwicklung der Heizungssysteme mit optimierten Investitionsalternativen.....	72
Abb. 39: Monatliche Anteile vom Jahreswärmeverbrauch und Photovoltaik-Stromerzeugung. ....	73
Abb. 40: Kostenentwicklung der Alternativen von Geothermieanlagen mit Photovoltaikunterstützung. ....	75

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Mögliche spezifische Entzugsleistungen für Erdwärmekollektoren.....	18
Tabelle 2: Kostenaufstellung der Geothermieranlage.....	19
Tabelle 3: Mittelwerte der jährlichen Bestrahlung auf verschieden orientierten Flächen.....	24
Tabelle 4: Kostenaufstellung der Solarthermieranlage .....	35
Tabelle 5: Kostenaufstellung der Photovoltaikanlage.....	49
Tabelle 6: Aufstellung der Stromproduktion und des Strombedarfs .....	50
Tabelle 7: Kostenaufstellung der Pelletsanlage.....	56
Tabelle 8: Kostenaufstellung der Hackschnitzelanlage. ....	56
Tabelle 9: Kostenaufstellung der Ölbrennwertanlage.....	60
Tabelle 10: Kostenaufstellung der Gasbrennwertanlage .....	62
Tabelle 11: Kostenvergleich der Heizungssysteme. ....	65
Tabelle 12: Kostenvergleich der Strombezugsalternativen.....	68
Tabelle 13: Kostenaufstellung der Solarthermieanlage mit Geothermieanlage.....	71
Tabelle 14: Kostenaufstellung der Solarthermieanlage mit Pelletsheizung .....	72
Tabelle 15: Kostenaufstellung der Geothermieanlage mit Photovoltaikunterstützung.....	74



# Abkürzungsverzeichnis

&	Und
€	Euro
°	Grad
%	Prozent
a	Jahr
Abb.	Abbildung
BGF	Bruttogeschoßfläche
BRICS	Brasilien, Russland, Indien, China, Südafrika
BWF	Barwertfaktor
C	Celsius
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
d	Tag
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
EU	Europäische Union
h	Stunde
kalk.	Kalkulatorisch
K	Kelvin
KES <sub>t</sub>	Kapitalertragssteuer
kg	Kilogramm
KF	Kollektorfläche
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
kWp	Kilowattspitzenleistung
l	Liter
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
MPP	Maximum-Power-Point
PV	Photovoltaik
PVGIS	Photovoltaik Geographical Information System
R <sub>m</sub>	Raummeter
S <sub>rm</sub>	Schüttraummeter
STC	Standardtestbedingungen
t	Tonne
URL	Uniform Resource Locator
vgl.	Vergleiche
V	Volt
W	Watt
W <sub>p</sub>	Wattspitzenleistung
WF	Wohnfläche
Wh	Wattstunden
z.B.	Zum Beispiel

## Formelverzeichnis

$\Delta$	Differenz
$\beta_a$	Jahresarbeitszahl
$\beta_b$	Jahresnutzungszahl
$\eta_{\text{sys}}$	Systemnutzungsgrad
$\eta_k$	Wirkungsgrad
$A_{\text{koll}}$	Kollektorfläche
$B_a$	Jahresenergiebedarf
$BW_{\text{ges}}$	Gesamtbarwert
$c$	spezifische Wärmekapazität
$da$	Abstand der Kollektorrohrleitungen
$E_a$	Einspeisemenge
$E_{\text{koll}}$	Globaleinstrahlung
$E_{\text{sol}}$	nutzbare Sonneneinstrahlung
$f_K$	Instandhaltungskostenanteil an der Investitionssumme
$f_s$	solarer Deckungsgrad
$G_a$	Jahresenergiegewinn
$H_i$	Heizwert
$i$	Kalkulationszinsatz
$I_0$	Investitionskosten
$j_X$	Preissteigerungsrate
$K_1$	Dachausrichtungskorrekturfaktor
$K_2$	Abschattungskorrekturfaktor
$K_a$	Jahresenergiekosten
$K_{\text{aHilf}}$	Jahreshilfsenergiekosten
$K_B$	betriebsgebundene Kosten
$K_{\text{ges}}$	Gesamtkosten
$K_{\text{fix}}$	fixe Kosten
$K_{\text{var}}$	variable Kosten
$K_K$	kapitalgebundene Kosten
$K_V$	verbrauchsgebundene Kosten
$k_{\text{SA}}$	Preis der Brennstoffeinheit
$KW$	Kapitalwert
$m$	Masse
$M_h$	Hackgutbrennstoffmenge
$M_p$	Pelletsbrennstoffmenge
$n_{\text{mod}}$	Modulanzahl
$\rho$	Dichte
$\rho_h$	Hackgutdichte
$P_{\text{mod}}$	Modulleistung
$p_p$	Pelletdichte
$P_{\text{PV}}$	elektrische Leistung
$P_W$	thermische Leistung

$q$	Zinsfaktor
$Q_{\text{ges}}$	Gesamtenergiebedarf
$Q_{\text{H}}$	Heizenergiebedarf
$Q_{\text{PV}}$	elektrischer Energiebedarf
$Q_{\text{sol}}$	solarer Energiebedarf
$Q_{\text{W}}$	Warmwasserenergiebedarf
$Q_{\text{Wges}}$	Warmwasserenergiebedarf gesamt
$r_{\text{X}}$	Preissteigerungsfaktor
$t$	Laufzeit
$T$	Temperatur
$V_{\text{bh}}$	Hackgutbrennstoffvolumen
$V_{\text{bp}}$	Pelletsbrennstoffvolumen
$V_{\text{lh}}$	Hackgutlagerraumvolumen
$V_{\text{lp}}$	Pelletslagerraumvolumen

# 1. Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Die Rahmenbedingungen der Energieversorgung haben sich in den vergangenen Jahren stark verändert. Fossile Rohstoffe stehen im derzeit genutzten Umfang in einem stark begrenzten zeitlichen Rahmen zur Verfügung. Trotzdem basiert der Primärenergieverbrauch in Österreich noch zu einem großen Teil auf Grundlage fossiler Energieträger. Mit anhaltender Ausbeutung dieser nicht erneuerbaren Energiequellen wird die Förderung in Zukunft zunehmend schwieriger, technisch aufwändiger, riskanter und mit beträchtlichen Kosten verbunden sein.<sup>1</sup> Zusätzlich mit den zur Neige gehenden fossilen Energiequellen gewinnen die Klimaproblematik und die Forderung nach einer höheren Energieeffizienz zunehmend an Bedeutung.

Hohe Wachstumsraten der BRICS-Staaten (Brasilien, Russland, Indien, China, Südafrika) bewirken eine Nachfragesteigerung und Preisexplosion bei Rohstoffen wie Öl, Gas, Kohle etc. Durch die allgemein gestiegenen Energiepreise hat sich daher in den letzten Jahren ein neues Bewusstsein für den Wert der Energie entwickelt, und die Suche nach Alternativen wird ökonomisch immer dringlicher. Die Kosten für Energie nehmen in privaten Haushalten eine bedeutende Größenordnung ein und haben einen maßgeblichen Anteil an den laufenden Gesamtkosten. Diese Rahmenbedingungen treiben viele Erbauer eines neuen Einfamilienhauses in den letzten Jahren dazu, nach Alternativen für die Strom- sowie Wärmeerzeugung zu suchen.

Ein wesentliches Element erneuerbarer Energien ist insbesondere die deutliche Erhöhung der Energieeffizienz durch Reduzierung des Energiebedarfs. Beim Energieeinsatz entstehen in der Regel erhebliche Verluste. Etwa 80 % der Primärenergie gehen beim Transport und der Umwandlung verloren oder werden nicht vernünftig eingesetzt. Der sinnvolle Nutzenenergieanteil liegt lediglich bei 20 %.<sup>2</sup> Diese Verluste können z.B. durch sehr gute Wärmedämmung und durch eine effiziente Umwandlung und Nutzung der Energie reduziert werden. Je besser es gelingt, durch den Einsatz hochentwickelter Produkte und Verfahren den Energieverbrauch zu verringern, desto einfacher ist es, auch den Restenergieverbrauch mit erneuerbaren Energien zu decken. Die Vielfalt der Nutzungsmöglichkeiten regenerativer Energien ist dabei enorm.

---

<sup>1</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S. 23.

<sup>2</sup> Vgl. ebenda (2010), S. 61f.

## 1.2 Ziele

Die Erstellung einer Wirtschaftlichkeitsanalyse über den Einsatz von regenerativen Energien stellt das Hauptziel der Arbeit dar. Anhand des konkreten Beispiels der Errichtung eines Einfamilienhauses soll ein praktischer Bezug hergestellt werden, womit durch die gewonnenen Ergebnisse der Berechnung eine Entscheidung getroffen werden kann, welches Energiesystem die Versorgung des Gebäudes mit Wärme und elektrischer Energie am kostengünstigsten übernehmen kann.

In der Wirtschaftlichkeitsanalyse werden unterschiedliche Investitionsalternativen mit verschiedenen Investitionsrechenverfahren bewertet und gegenübergestellt. In den Vergleich werden sowohl regenerativ betriebene Anlagen als auch konventionelle Anlagenkonzepte miteinbezogen. Sowohl bei den erneuerbaren als auch bei den nicht erneuerbaren Energieformen kommen bewährte und bereits am Markt verfügbare Energiesysteme zum Einsatz. Ziel ist es, die Alternative zu identifizieren, die auf lange Sicht die geringsten Kosten verursacht.

Abschließend soll zusätzlich ein etwaiges Optimierungspotenzial aufgezeigt werden, indem unterschiedliche Energieträger kombiniert werden, um zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit beizutragen. Sogenannte bivalente Energieanlagen sind im Bereich der erneuerbaren Energien keine Seltenheit und auch für die Nachrüstung von bereits bestehenden Anlagen denkbar. Die Vorteile einer bestimmten Energieform sollen durch die Kombination die möglichen Nachteile einer anderen minimieren und im Endeffekt zu geringeren Kosten führen.

In der Arbeit wird das Mindestmaß an theoretischem Fachwissen vermittelt, das zur Planung einer Energieversorgungsanlage und in weiterer Folge zur Erstellung der Wirtschaftlichkeitsanalyse notwendig ist. An dem konkreten Beispiel werden die notwendigen Berechnungsgrundlagen der einzelnen Systeme in Erfahrung gebracht und die speziellen Anforderungen der Erbauer des Eigenheims miteinbezogen.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Fokus in erster Linie auf die ökonomischen Aspekte des Einsatzes von regenerativen Energiesystemen gelegt. Die Vorteilhaftigkeit einzelner Investitionsalternativen wird ausschließlich nach wirtschaftlichen Kriterien beurteilt. Die ökologischen Beweggründe für die Verwendung von erneuerbaren Energien sind ebenfalls von großer Bedeutung und hinlänglich bekannt, werden jedoch in dieser Arbeit nicht näher behandelt.

## 1.3 Methodisches Vorgehen

Der 1. Abschnitt der Diplomarbeit schildert die bestehende Problematik im Bereich der Energieversorgung und hebt die Notwendigkeit der Steigerung der Energieeffizienz hervor. Zusätzlich werden in Kapitel 1 die Ziele der vorliegenden Abhandlung definiert und eingegrenzt.

In Kapitel 2 beschäftigt sich der Verfasser mit den Grundlagen der Wirtschaftlichkeitsanalyse, wobei insbesondere auf die in der Arbeit verwendeten Verfahren der Wirtschaftlichkeitsberechnung näher eingegangen wird.

Im 3. Teil der Arbeit werden die Ausgangslage bzw. die Rahmenbedingungen, die zum Vergleich der Energiesysteme in Zusammenhang mit einem konkreten Praxisbeispiel notwendig sind, umfassend beschrieben.

Kapitel 4 erläutert das Funktionsprinzip ausgewählter erneuerbarer Energiequellen (Geothermie, Sonnenstrahlung und Biomasse) und stellt einen Bezug zum konkreten Praxisfall her. Die Vorstellung jeder Alternative schließt mit einer beispielhaften Durchführung der Kostenvergleichsrechnung sowie der Kapitalwertmethode ab.

Um die Wirtschaftlichkeit der regenerativen Energiesysteme zuverlässig bewerten zu können, wird in Kapitel 5 ein rechnerischer Vergleich mit konventionellen Heizungssystemen hergestellt.

Im 6. Abschnitt werden sämtliche behandelten Alternativen einander gegenübergestellt und ein etwaiges Optimierungspotenzial aufgezeigt.

Den letzten Teil der Diplomarbeit bilden die allgemeine Schlussbetrachtung sowie die Interpretation der gewonnenen Ergebnisse, und abschließend wird ein Ausblick über zukünftige Entwicklungen am Energiemarkt gegeben.

## 2. Wirtschaftlichkeitsanalyse

### 2.1 Grundlagen

Die Wirtschaftlichkeit stellt neben der Produktivität und der Rentabilität eine der drei Formalziele/Erfolgsziele einer Unternehmung dar. Die Ermittlung der Wirtschaftlichkeit erfolgt, indem man einen Ertrag zu seinem Aufwand bzw. eine Leistung zu seinen Kosten ins Verhältnis setzt.<sup>3</sup> Der Maßstab der Wirtschaftlichkeit ist unter den betriebswirtschaftlichen Kennzahlen von besonderer Bedeutung. Wirtschaftlichkeit liegt dann vor, wenn der Output größer als der Input ist bzw. eine Investition einer anderen überlegen ist.

Die klassischen Verfahren der Investitionsrechnung werden in der Regel als Standardwerkzeug für die Wirtschaftlichkeitsberechnung herangezogen. Grundsätzlich unterscheidet man statische und dynamische Methoden der Investitionsrechnung.

Bei den statischen Investitionsrechenverfahren wird nur eine Teilperiode betrachtet, das heißt, es erfolgt eine Durchschnittsbetrachtung ohne Berücksichtigung von Zeitpräferenzen und Zinseszinsseffekten.<sup>4</sup> Diese Verfahren zeichnen sich durch ihre einfache Anwendbarkeit aus, was jedoch ihre Aussagekraft für die Praxis begrenzt.

Die dynamischen Methoden beziehen den Zeitpunkt mit ein, zu dem die Ein- und Auszahlungen anfallen. Das bedeutet, es wird berücksichtigt, dass Zahlungen in der Gegenwart nicht denselben Wert besitzen wie Zahlungen in gleicher Höhe, die erst zukünftig zur Verfügung stehen.<sup>5</sup> Dynamische Verfahren verfügen daher über eine deutlich höhere Flexibilität und Leistungsfähigkeit.

---

<sup>3</sup> Vgl. Jung (2009), S.30.

<sup>4</sup> Vgl. Hutzschenreuter (2009), S.117.

<sup>5</sup> Vgl. ebenda, S.127.

Die nachfolgende Grafik zeigt die unterschiedlichen Arten von Wirtschaftlichkeitsberechnungen.



Abb. 1: Arten von Investitionsrechenverfahren<sup>6</sup>

Auf ausgesuchte Methoden wird in dieser Arbeit im Rahmen des Wirtschaftlichkeitsvergleichs näher eingegangen, um eine Entscheidung zwischen den unterschiedlichen Varianten der erneuerbaren und konventionellen Energiesysteme zu ermöglichen.

## 2.2 Angewandte Methoden der Wirtschaftlichkeitsanalyse

Im Zuge der Diplomarbeit finden zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Energiesysteme jeweils eine Methode der statischen und eine Methode der dynamischen Investitionsrechenverfahren praktische Anwendung.

### Kostenvergleichsrechnung

Die Kostenvergleichsrechnung ist eine Variante der statischen Investitionsrechenverfahren. Durch den Vergleich der Kosten von mehreren konkurrierenden Investitionsalternativen wird versucht, die Variante mit den langfristig geringsten Kosten zu ermitteln. In die Berechnung fließen alle die Investition betreffenden Kosten ein. Eventuelle Erlöse werden nicht beachtet, da angenommen wird, dass diese nicht abhängig von der gewählten Investition sind.<sup>7</sup>

In der Regel werden bei Kostenvergleichsrechnungen folgende Kostenpositionen betrachtet.<sup>8</sup>

- Kalkulatorische Abschreibungen
- Kalkulatorische Zinsen
- Fertigungsmaterialkosten

<sup>6</sup> Vgl. URL: <http://www.teialehrbuch.de/Kostenlose-Kurse/Finanzmanagement/32009-Methoden-der-Investitionsrechnung.html> (Zugriff: 09.04.2013).

<sup>7</sup> Vgl. Becker (2012), S.42.

<sup>8</sup> Vgl. Mensch (2002), S.45



- Energiekosten
- Betriebsstoffkosten
- Werkzeugkosten
- Instandhaltungskosten
- Mietkosten

Zusätzlich erfolgt eine Aufteilung in fixe und variable Kosten. Die Unterscheidung erfolgt durch die Veränderlichkeit der Kostenhöhe bei Modifizierung von leistungsabhängigen Kostenarten wie Energie- oder Betriebsstoffkosten.<sup>9</sup> Realisiert werden sollte diejenige Alternative mit den geringsten Kosten. Die Kostenvergleichsrechnung ist relativ einfach anzuwenden und eignet sich als schnelles Werkzeug, um einen ersten Überblick über die Kosten einzelner Investitionsmöglichkeiten zu erlangen.<sup>10</sup>

### Kapitalwertmethode

Als Methode der dynamischen Investitionsrechenverfahren wird mit der Kapitalwertmethode die Möglichkeit gegeben, den Faktor Zeit zu berücksichtigen. Dies ist vor allem für Berechnungen auf dem Energiesektor von Vorteil, da davon auszugehen ist, dass die Preise für Brennstoffe weiter steigen werden.

Bei der Kapitalwertmethode wird auf den Kapitalwert einer Investitionsalternative Bezug genommen. Er ist das Ergebnis aller auf- und abgezinsten Zahlungsflüsse für einen festgelegten Zeitpunkt, die zweifellos der Investition zugeordnet werden können. Es werden sowohl Einzahlungen als auch Auszahlungen berücksichtigt, die mit einem Zinssatz (Kalkulationszinsfuß) abgezinst werden. Investitionen gelten als vorteilhaft, wenn deren Kapitalwert positiv ist. Vorhaben mit negativem Kapitalwert dürfen, mit der Absicht einen Gewinn zu erzielen, nicht realisiert werden.<sup>11</sup> Auch wenn bei privaten Energieversorgungssystemen im Normalfall keine Rückflüsse zu erwarten sind, so eignet sich die Methode dennoch, um die preisdynamischen Änderungen während der Laufzeit der Anlage zu berücksichtigen.

Sollten die anfallenden Ein- und Auszahlungen über den gesamten Investitionszeitraum konstant sein, so lässt sich die Berechnung des Kapitalwertes auch über den Barwertfaktor (BWF) bewerkstelligen. Der Barwertfaktor stellt die Aufsummierung der einzelnen Abzinsungsfaktoren dar und wird anschließend mit dem Barwert der gesamten Periode multipliziert, um den Kapitalwert für die Investition zu erhalten.<sup>12</sup>

---

<sup>9</sup> Vgl. Stelling (2009), S.61.

<sup>10</sup> Vgl. Becker (2012), S.51.

<sup>11</sup> Vgl. Peters, Brühl, Stelling (2005), S.102 f.

<sup>12</sup> Vgl. Schlabbach, Drescher, Kley (2012), S.131.

### 3. Beschreibung der Ausgangslage

Um eine aussagekräftige Berechnung über die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von erneuerbaren Energien durchführen zu können, wird ein konkretes Szenario benötigt. Am Beispiel eines geplanten Baus eines Einfamilienhauses werden die gängigsten Alternativen möglichst praxisnah berechnet. Bei der Analyse sollen die Heiz- und Stromkosten, die zur Versorgung des Eigenheims mit vier Bewohnern nötig sind, berücksichtigt werden. Auf den folgenden Seiten werden nun Rahmenparameter definiert, die für die präzise Berechnung der Wirtschaftlichkeit Voraussetzung sind.

#### **Grundstück:**

Das ausgewählte Grundstück liegt im nördlichen Niederösterreich und weist eine ebene, unbebaute Baufläche von 1.050 m<sup>2</sup> auf.

#### **Elektrischer Energiebedarf:**

Um eine möglichst genaue Aussage über die anfallenden Stromkosten in dem konkreten Fall tätigen zu können, wird auf die aktuelle Situation der Erbauer des Eigenheims eingegangen. Momentan wird ein vier Personen Haushalt bewohnt, und pro Jahr werden durchschnittlich 5.500 kWh an elektrischer Energie verbraucht. In dieser Arbeit wird ebenfalls von einem Verbrauch in diesem Umfang ausgegangen, da dies die persönlichen Lebensgewohnheiten bestmöglich abbildet.

#### **Heizspezifikationen:**

Das Einfamilienhaus soll nach dem Niedrigenergiehaus-Standard errichtet werden, was bedeutet, dass die Höchstgrenze für den jährlichen Wärmebedarf bei maximal 50 kWh/m<sup>2</sup> festgesetzt ist.<sup>13</sup> Die Wärmedämmung für Niedrigenergiehäuser ergibt einen spezifischen Wärmebedarf von durchschnittlichen 40 W/m<sup>2</sup>.<sup>14</sup>

Aus den Außenmaßen des Gebäudes ergibt sich eine Bruttogeschoßfläche von 400 m<sup>2</sup>, verteilt auf 2 Stockwerke. Abzüglich der Konstruktionsflächen berechnet sich die tatsächlich zu beheizende Wohnfläche (WF) aus 71 % der Bruttogeschoßfläche (BGF).<sup>15</sup>

$$WF = 0,71 * BGF = 0,71 * 400 \text{ m}^2 = 284 \text{ m}^2$$

---

<sup>13</sup> Vgl. URL: <http://www.energiesparhaus.at/gebaeudehuelle/neh.htm> (Zugriff: 04.04.2013).

<sup>14</sup> Vgl. URL: <http://www.energiesparhaus.at/energie/wp-erdkollektor1.htm> (Zugriff: 04.04.2013).

<sup>15</sup> Vgl. VDI 3801 Blatt 1 (2000).

Die bezogene Heizenergie für das gesamte Jahr ( $Q_H$ ) wird aus der Wärmebedarfshöchstgrenze und der Wohnfläche des Gebäudes ermittelt.

$$Q_H = 50 \text{ kWh/m}^2 \cdot WF = 50 \text{ kWh/m}^2 \cdot 284 \text{ m}^2 = 14.200 \text{ kWh/a}$$

Die Abgabe von erzeugter Wärme an die Wohnräume erfolgt, unabhängig vom schlussendlich gewählten Heizsystem, mittels Fußbodenheizung und wird darum in der Analyse der Wirtschaftlichkeit auch nicht weiter berücksichtigt.

Um die geforderte Wärmeleistung ( $P_W$ ) der Anlage berechnen zu können, wird die Wohnfläche und der sich aus der Dämmung ergebende spezifische Wärmebedarf multipliziert. Da die Anlage auch die Warmwasseraufbereitung übernimmt, werden anschließend zu der benötigten Leistung zusätzlich 0,25 kW pro Person addiert.<sup>16</sup>

$$P_W = WF \cdot 40 \text{ W/m}^2 + (0,25 \text{ kW} \cdot 4) = 284 \text{ m}^2 \cdot 40 \text{ W/m}^2 + (0,25 \text{ kW} \cdot 4) = 12,36 \text{ kW}$$

Jegliche Heizanlage muss demnach mindestens eine Heizlast von 12,36 kW bewältigen können, um das Gebäude mit Wärme und Warmwasser versorgen zu können.

### **Warmwasserbedarf:**

Der durchschnittliche Warmwasserbedarf einer Person beträgt ca. 50 Liter.<sup>17</sup> Für einen 4-Personen-Haushalt ergibt sich somit ein Bedarf von mindestens 200 Litern.

Das bereitgestellte Brauchwasser soll eine Temperatur von mindestens 55°C aufweisen. Kaltwasser wird mit 10°C eingespeist. Der Energiebedarf, der für das Aufheizen benötigt wird, lässt sich über die Mindestgröße des Speichers, die spezifische Wärmekapazität des Wassers ( $c$ ) und die Temperaturdifferenz zwischen Kalt- und Warmwasser berechnen.

$$\text{Energiebedarf pro Tag: } Q_w = m \cdot c \cdot \Delta T = 200 \text{ l/d} \cdot 1,16 \text{ (Wh/kg} \cdot \text{K)} \cdot (55^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}) = 10.440 \text{ Wh/d}$$

$$\text{Energiebedarf pro Jahr: } Q_w = 10,44 \text{ kWh/d} \cdot 365\text{d} = 3810,6 \text{ kWh/a} \approx 3.811 \text{ kWh/a}$$

In der Berechnung muss auch auf die Wärmeverluste durch Zirkulation und Speicherung Rücksicht genommen werden. Verluste bei der Speicherung liegen meist in der Größenordnung von 4 kWh pro Tag.<sup>18</sup> Jährlich fällt somit ein Energiebedarf von 1.460 kWh / a an.

---

<sup>16</sup> Vgl. Bonin (2012), S.71.

<sup>17</sup> Vgl. URL: <http://www.esv.or.at/bauen-wohnen/warmwasser-heizen/warmwasserbereitung/> (Zugriff: 20.04.2013).

<sup>18</sup> Vgl. URL: <http://www.leitfaden-nahwaerme.de/pdfs/Kombi.pdf> (Zugriff: 22.04.2013)

Durch die Zirkulation des Wassers im Heiz- und Trinkwasserkreislauf können zusätzliche erhebliche Wärmeverluste entstehen, die nicht zu vernachlässigen sind. Bezogen auf die zu beheizende Fläche, kann in diesem Fall von einem jährlichen Wärmeverlust von 8 kWh / m<sup>2</sup> ausgegangen werden.<sup>19</sup> Bei einer Wohnfläche von 284 m<sup>2</sup> ergibt dies einen Wärmeverlust durch Zirkulation von 2.272 kWh/a.

Durch Aufsummierung der einzelnen Energiemengen ergibt sich somit ein gesamter jährlicher Warmwasserbedarf ( $Q_{\text{wges}}$ ) von 7.543 kWh/a.

**Laufzeit:**

Alle in dieser Arbeit untersuchten Energiesysteme werden für eine Laufzeit von mindestens 25 Jahren eingesetzt. Bei der Auswahl der Anlagenkomponenten wird auf deren Lebensdauer Rücksicht genommen. Sollte eine Komponente frühzeitig ersetzt werden müssen, so wird eine Ersatzinvestition getätigt.

Der jährliche Energiebedarf des Einfamilienhauses an Strom und Warmwasser bleibt während der gesamten Laufzeit konstant.

**Förderungen:**

Bei der Errichtung von Anlagen zur Energieversorgung bieten Bund und Länder oft Förderungen in Form von nicht rückzahlbaren oder zinslosen Krediten an. Die Förderhöhe ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig, welche sich nach Art und Ausführung der Anlage richten. Um einen objektiven Vergleich der Investitionsalternativen zu erhalten, wird in der Analyse auf etwaige Förderungen nicht Rücksicht genommen.

**Kalkulatorische Zinsen:**

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht verursacht das in einer Investition eingesetzte Kapital, einen Werteverzehr. Wenn die Investitionssumme statt der Errichtung der Anlage am Kapitalmarkt angelegt werden würde, könnten Zinsen realisiert werden, welche auch als Opportunitätskosten bezeichnet werden.<sup>20</sup> Bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse der Heizsysteme wird auf einen kalkulatorischen Zinssatz verzichtet, da aufgrund der Notwendigkeit einer Heizung die Alternative der Kapitalmarktanlage ausscheidet und in jedem Fall eine Investition getätigt werden muss. Bei der Errichtung einer Photovoltaikanlage ist die Möglichkeit der Kapitalmarktanlage jedoch gegeben, da eine Errichtung nicht unbedingt erforderlich ist und der Strom auch ohne Investition zur Gänze über das öffentliche Netz bezogen werden könnte. Auf die Realisierung von Zinsgewinnen wird somit bei der Gegenüberstellung Rücksicht genommen.

---

<sup>19</sup> Vgl. URL: [http://www.energieberaterkurs.de/export/sites/default/de/Dateien\\_Kennwerte/kennwerte\\_verteil\\_netze.pdf](http://www.energieberaterkurs.de/export/sites/default/de/Dateien_Kennwerte/kennwerte_verteil_netze.pdf) (Zugriff: 21.04.2013).

<sup>20</sup> Vgl. Stelling (2009), S.28.

**Preisentwicklung der Brennstoffe:**

Die Entwicklung der Energiepreise ist naturgemäß schwierig vorherzusagen. Angebot und Nachfrage, Spekulationen, Naturkatastrophen oder Kriege können Einfluss auf die Preisentwicklung nehmen. Durch den Rückblick auf einen möglichst weiten Zeitraum sollen Steigerungsraten ermittelt werden, die anschließend in die Wirtschaftlichkeitsanalyse einfließen.

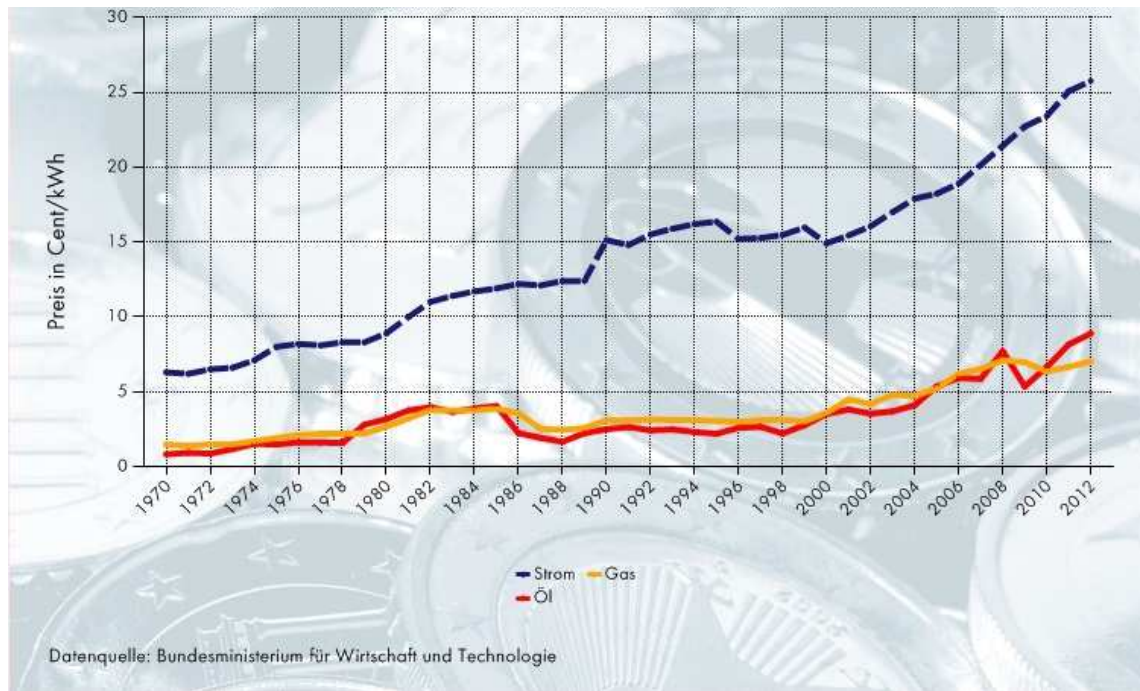


Abb. 2: Energiepreisentwicklung seit 1970 im Vergleich (nicht inflationsbereinigt)<sup>21</sup>

Abbildung 2 veranschaulicht die Steigerungsraten der Energiepreise für Öl, Gas und Strom, beginnend mit dem Jahr 1970.

<sup>21</sup> Vgl. URL: <http://www.energieagentur.nrw.de/infografik/grafik.asp?TopCatID=3106&CatID=3131&RubrikID=3131> (Zugriff: 09.05.2013).

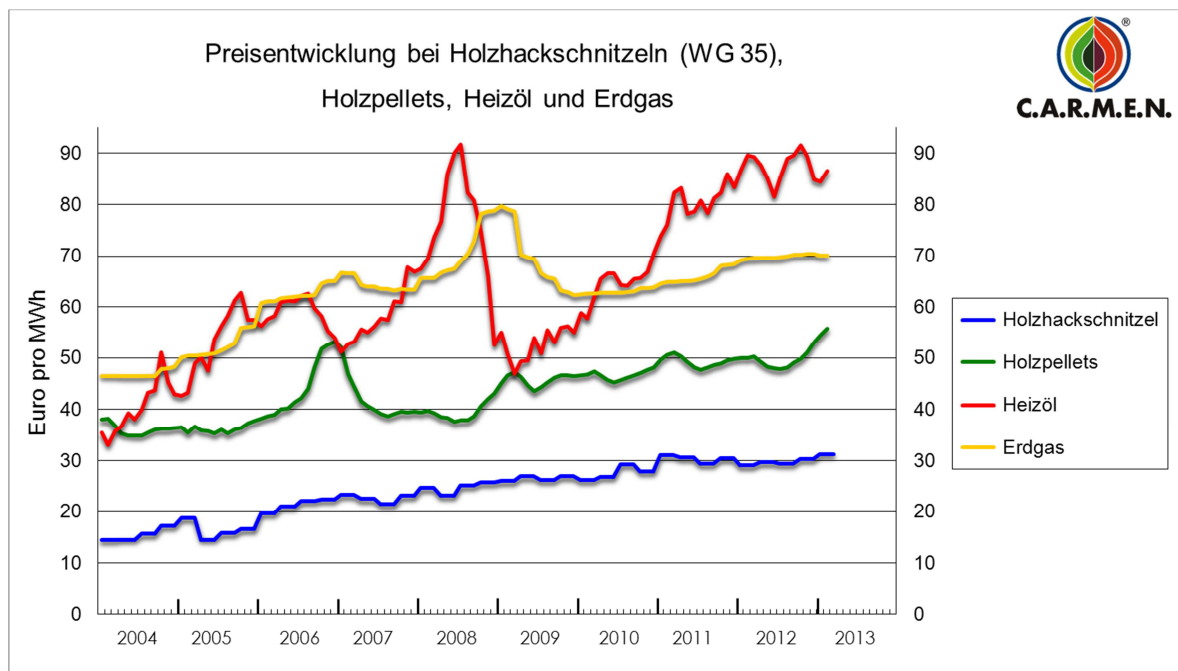


Abb. 3: Energiepreisentwicklung von Pellets und Hackschnitzel (nicht inflationsbereinigt)<sup>22</sup>

Pellets und Hackschnitzel sind im Vergleich seit einer relativ kurzen Zeitspanne für den Einsatz in Heizsystemen am Markt erhältlich. Dies lässt nur einen kurzen Rückblick auf die Preisentwicklung bis ins Jahr 2004 zu.

Anhand der beiden Abbildungen werden folgende durchschnittliche, jährliche Preissteigerungsraten ( $j_x$ ) für die Wirtschaftlichkeitsberechnung übernommen:

Öl:	+ 5,25 %
Gas:	+ 3,50 %
Strom:	+ 3,50 %
Pellets:	+ 3,75 %
Hackschnitzel:	+ 4,00 %

Der Prozentsatz für Holzhackschnitzel wurde nach unten korrigiert. Laut Abbildung 3 wäre eine durchschnittliche Preissteigerung von ca. 8 % anzusetzen. Dies würde jedoch nicht die Realität widerspiegeln, da der Preis anfänglich starke Steigerungen verzeichnete, in den letzten Jahren aber relativ konstant blieb.

<sup>22</sup> Vgl. URL: <http://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/holzpellets/graphiken> (Zugriff: 09.05.2013).

## 4. Erneuerbare Energiequellen

### 4.1 Geothermie

Unser Planet bietet uns unterhalb der Erdoberfläche eine erneuerbare Energie in Form von Wärme an, die nur darauf wartet, genutzt zu werden. Diese Energieform wird auch als Erdwärme (Geothermie) bezeichnet und eignet sich zur Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie. Die Temperaturen im innersten Kern der Erde steigen bis auf 6.500°C und halten unseren Planeten von innen warm. Auch wenn man mit dem derzeitigen Stand der Technik nur in geringe Tiefen vordringen kann, so lässt sich schon in einigen 100 Metern Tiefe wirtschaftlich sinnvoll Energie erzeugen.<sup>23</sup>

#### Unterteilung der Erdwärmequellen:

Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Geothermie. Da wären zum einen die oberflächennahe Geothermie und zum anderen die Tiefengeothermie.

Von oberflächennaher Geothermie spricht man bei Bohrungen bis zu wenigen 100 m Tiefe. Alles, was darüber hinaus geht, wird als Tiefengeothermie bezeichnet. Im privaten Bereich kommt nur die oberflächennahe Geothermie für die Wärmeerzeugung zur Anwendung, da tiefere Bohrungen erheblich teurer sind und ein höherer Genehmigungsaufwand besteht.<sup>24</sup>

#### 4.1.1 Funktionsprinzip

Um die Wärme aus der Erdoberfläche förder- und nutzbar machen zu können, werden Absorber in das Erdreich eingebracht, die Teil eines Flüssigkeitskreislaufs sind. Um nun die ungefähr 10°C warme Erde zum Heizen eines Gebäudes verwenden zu können, wird eine Wärmepumpe benötigt, die durch Erhöhung des Drucks die Flüssigkeit im Kreislauf in einen gasförmigen Zustand versetzt. Sobald der Dampf durch Zirkulation an der Wärmepumpe angekommen ist, wird die Wärmeenergie entzogen, und der Dampf geht wieder in den flüssigen Zustand über.<sup>25</sup>

---

<sup>23</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.330 ff.

<sup>24</sup> Vgl. Kaltschmitt, Streicher (2009), S.233.

<sup>25</sup> Vgl. Watter (2011), S.122.

## Erdabsorbervarianten

Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten bei der Einbringung der Erdabsorber ins Erdreich. Die lokalen Gegebenheiten an einem Standort setzen oft eine bestimmte Variante voraus, um ein effizientes Arbeiten der Erdwärmeanlage zu gewährleisten. Nachfolgende drei Absorptionstechniken zählen zu den bewährtesten Methoden der Wärmegewinnung.

### Erdwärmekollektoren

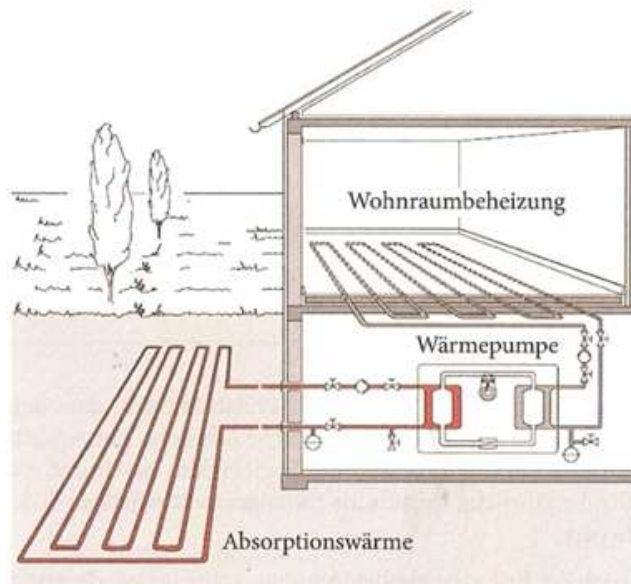


Abb. 4: Funktionsweise von Erdwärmekollektoren<sup>26</sup>

Bei dieser Variante werden in ein bis zwei Metern Tiefe horizontal Kunststoffrohre verlegt, die zueinander einen Abstand von 0,8 m haben. In diesen Rohren zirkuliert Salzwasser oder ein Wasser-Glykol-Gemisch, das die Wärme des Erdbodens aufnimmt. Die Wärme des Kollektorkreislaufs wird mittels Wärmepumpe entnommen und an den Heizkreislauf (meist Fußboden- oder Wandheizung) des Gebäudes abgegeben. Die Dimensionierung der notwendigen Kollektorfläche richtet sich nach dem Wärmebedarf des Gebäudes und nach der Beschaffenheit des Untergrunds. Trockene und grobkörnige Böden sind für den Wärmetransport wenig geeignet und bedürfen in solchen Fällen einer größeren Dimensionierung. Die Wärmetransportfähigkeit verbessert sich, je feuchter der Boden ist, was sich dann schlussendlich auch positiv auf die Investitionskosten auswirkt. Im privaten Bereich werden zwischen 100 m<sup>2</sup> und 500 m<sup>2</sup> Gartenfläche benötigt. Eine Versiegelung oder Bebauung der Gartenfläche über den Kollektoren darf nicht stattfinden, da dies die Leistungsfähigkeit der Anlage vermindern könnte.<sup>27</sup>

<sup>26</sup> Vgl. VDI 4640 Blatt 2 (2001).

<sup>27</sup> Vgl. Schlabbach, Drescher, Kley (2012), S.56 ff.



### Erdwärmesonden

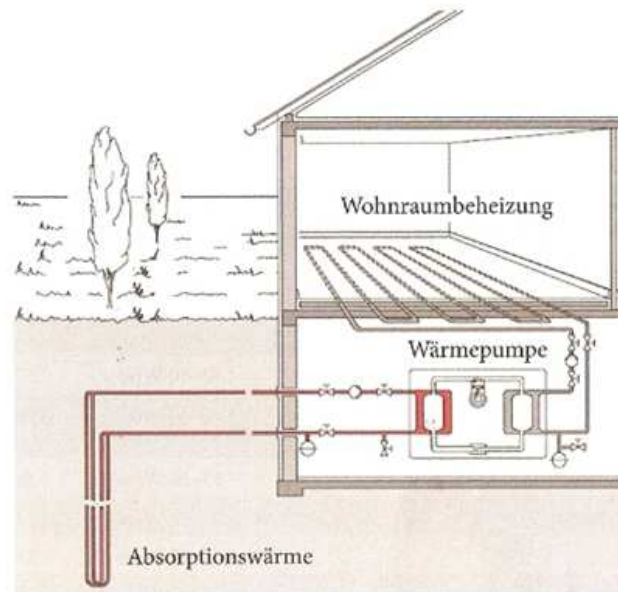


Abb. 5: Funktionsweise von Erdwärmesonden<sup>28</sup>

Wenn die Grundstücksausmaße zu gering sind und die Realisierung von Erdwärmekollektoren nicht lohnenswert ist, kann als Alternative zu Erdwärmesonden gegriffen werden. Dabei wird eine Tiefenbohrung zwischen 30 m und 300 m vorgenommen. Je nach Wunsch können auch mehrere kürzere Bohrungen parallel geschaltet werden. Das Funktionsprinzip ist ident mit dem der horizontalen Erdwärmekollektoren. Es zirkuliert ein Salz- oder Wasser-Gemisch, das Wärme zur Wärmepumpe transportiert. Die Variante der Erdwärmesonden ist teurer als die Installation von Erdwärmekollektoren, was sich durch die aufwendige Tiefenbohrung und auch durch die notwendige Analyse der Beschaffenheit des Bodens in großer Tiefe begründen lässt. Positiv ist jedoch anzumerken, dass diese Systeme bei optimaler Anlagenplanung einen höheren Wirkungsgrad aufweisen als Erdwärmekollektoren.<sup>29</sup>

<sup>28</sup> VDI 4640 Blatt 2 (2001).

<sup>29</sup> Vgl. Schlabbach, Drescher, Kley (2012), S.60 ff.

## Grundwasserbrunnen

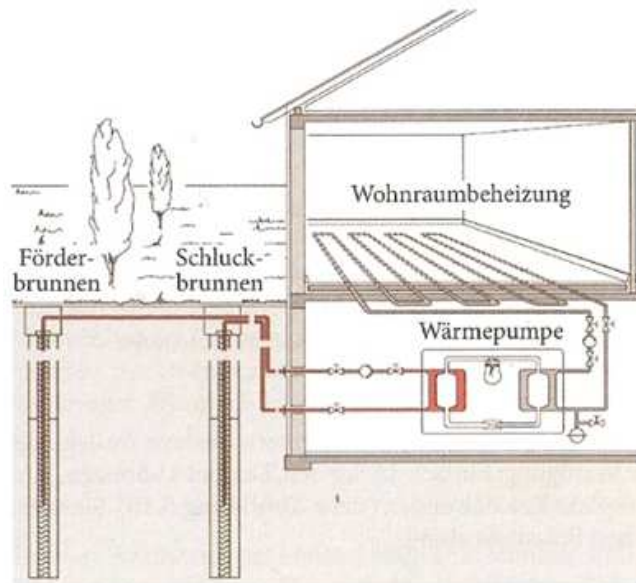


Abb. 6: Funktionsweise von Grundwasserbrunnen<sup>30</sup>

Bei optimalen Grundwasserbedingungen der Liegenschaft lässt sich die Wärmepumpe auch direkt mit Grundwasser versorgen. Dazu werden mindestens 2 Brunnen (ca. 15 m Tiefe) benötigt: ein Förderbrunnen, der das Wasser an die Oberfläche befördert, und ein oder mehrere Schluckbrunnen, die das Wasser wieder zurück ins Erdreich befördern. Grundwasserbrunnen haben einen hohen Wirkungsgrad, benötigen jedoch auch eine professionelle Planung und Durchführung der Anlagenerrichtung. Es ist darauf zu achten, dass die Qualität des Grundwassers beibehalten wird, da dies ausschlaggebend für die Effizienz der Anlage ist. Zudem muss sichergestellt sein, dass das komplette System sauerstofffrei ist, um Korrosion zu verhindern.<sup>31</sup>

### **Betriebsarten**

Erdwärmepumpen können grundsätzlich zwei unterschiedliche Aufgaben übernehmen: die Energieentnahme und die Energiespeicherung. Dadurch ergeben sich drei Betriebsarten, die eine Erdwärmeanlage ausüben kann.

#### ▪ Heizen

Das Gebäude wird über die gewonnene Energie aus dem Erdreich mit Wärme versorgt. Diese Betriebsart findet vor allem in Passivhäusern ihren Einsatz, da sich diese Gebäude im Sommer nur minimal durch die Sonneneinstrahlung erwärmen.<sup>32</sup>

<sup>30</sup> VDI 4640 Blatt 2 (2001).

<sup>31</sup> Vgl. Schlabbach, Drescher, Kley (2012), S.64 ff.

<sup>32</sup> Vgl. Watter (2011), S.122.

- Heizen und Kühlen

Zusätzlich zur Heizung im Winter wird im Sommer durch die Umkehrbarkeit der Wärmepumpe dem Gebäude Wärme entzogen und an den Erdboden abgegeben. Durch diese Maßnahme wird eine angenehme Kühlung erreicht, ohne auf ein stromfressendes Klimagerät zurückgreifen zu müssen.<sup>33</sup>

- Saisonale Speicherung

Ein Spezialfall ist die Einlagerung von Wärme oder Kälte im Erdreich zur späteren Verwendung. Diese Art der Speicherung ist mit allen gängigen Erdwärmeanlagen möglich und lässt einen kombinierten Heiz- und Kühlbetrieb zu.<sup>34</sup> Neueste Entwicklungen sehen sogar das Einbringen von Wassertanks in das Erdreich vor, um es im Winter zu Eis zu verwandeln. Im Sommer steht der gefrorene Eisblock dem Gebäude dann zur natürlichen Kühlung zur Verfügung.<sup>35</sup>

#### 4.1.2 Bezug auf den konkreten Fall

## Bodenbeschaffenheit

Für die Anwendung von oberflächennaher Geothermie ist die Kenntnis über die Beschaffenheit des Bodens von enormer Bedeutung. Die Informationen über die Bodenverhältnisse wurden über die Internetseite des Lebensministeriums bezogen und brachten folgende Erkenntnisse:

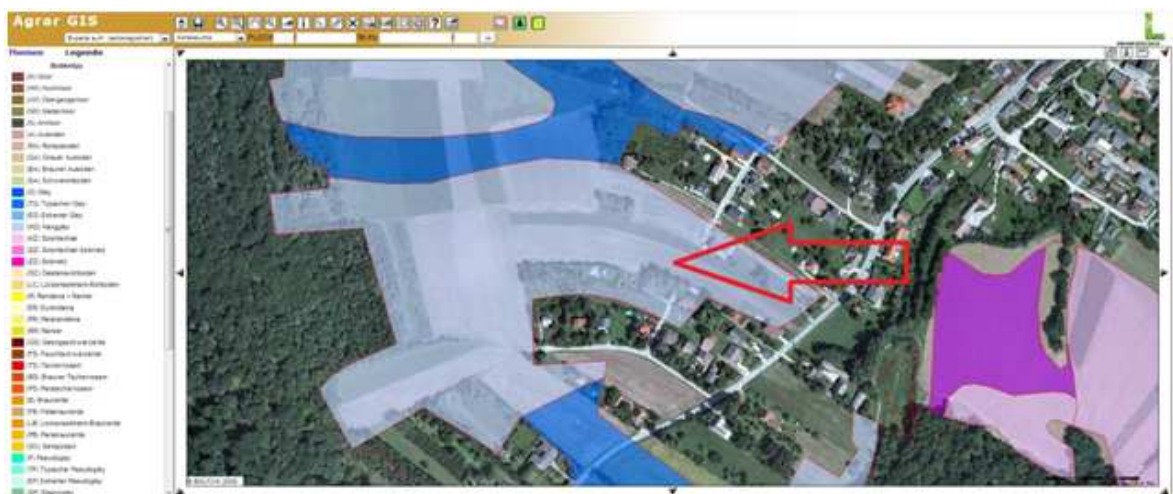


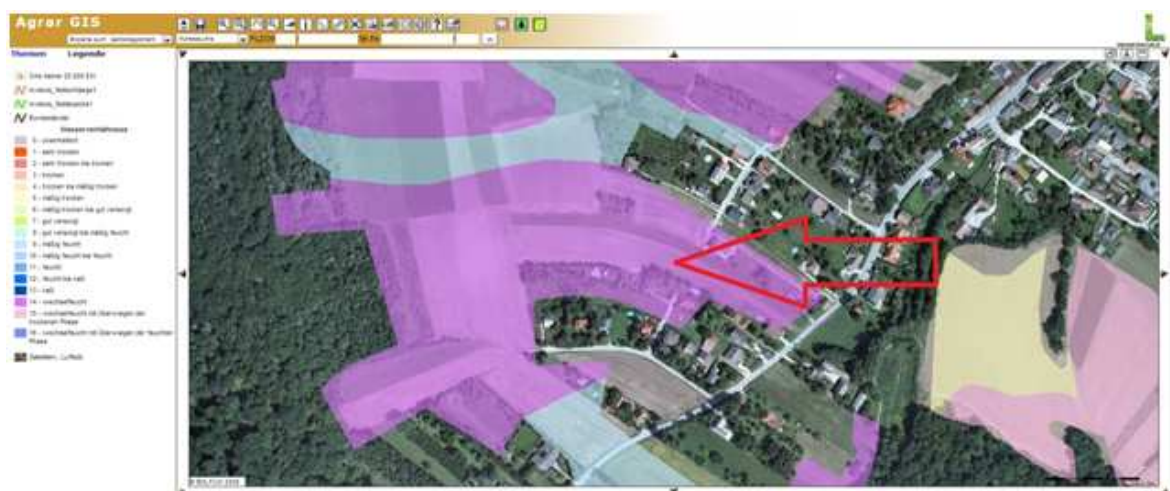
Abb. 7: Bodentyp des Grundstücks<sup>36</sup>

<sup>33</sup> Vgl. Watter (2011), S.131.

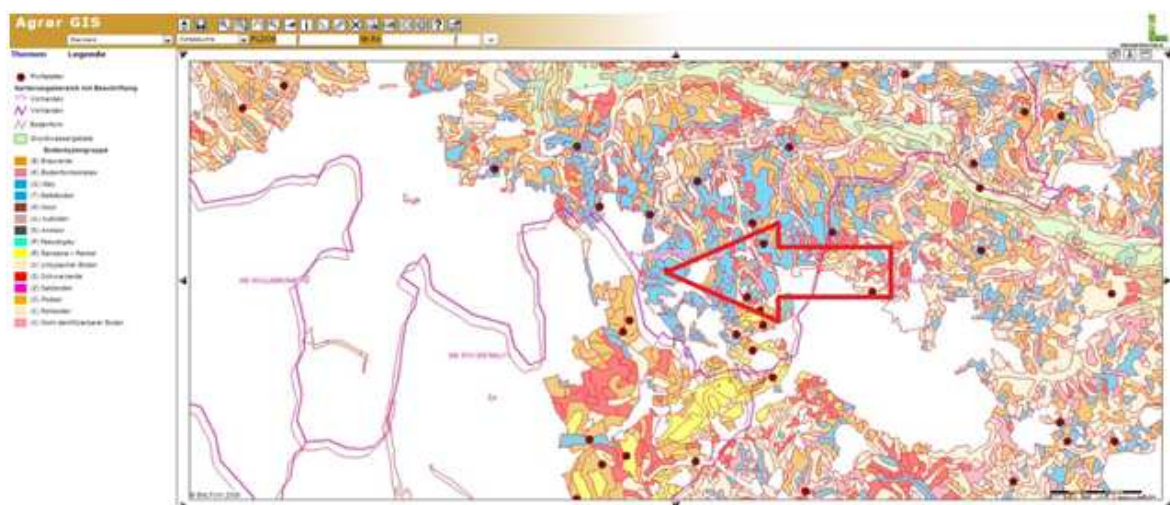
<sup>34</sup> Vgl. Kaltschmitt, Streicher (2009), S.253.

<sup>35</sup> Vgl. Wilming (2013), S.100.

<sup>36</sup> Vgl. URL: <https://kunden.bmlfuw.lfrz.at> (Zugriff: 02.04.2013).

Abb. 8: Feuchtigkeitsgrad des Grundstückbodens<sup>37</sup>

Wie in Abbildung 7 und 8 zu erkennen ist, lässt die Lage des Grundstücks auf einen wechselfeuchten Boden des Bodentyps Hang-Gley schließen. Der Hang-Gley ist eine Unterkategorie des Gley Bodentyps, welcher als vom Grundwasser beeinflusster Boden gilt.<sup>38</sup>

Abb. 9: Regionale Grundwasservorkommen<sup>39</sup>

Weitere Analysen ergaben, dass das Grundstück in nicht ergiebigen Grundwassergebieten (grün dargestellt auf Abbildung 7) liegt.

<sup>37</sup> Vgl. URL: <https://kunden.bmlfuw.lfrz.at> (Zugriff: 02.04.2013).

<sup>38</sup> Vgl. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Gley> (Zugriff: 03.04.2013).

<sup>39</sup> Vgl. URL: <https://kunden.bmlfuw.lfrz.at> (Zugriff: 02.04.2013).

## Erdabsorber

Die auf der Liegenschaft vorherrschenden Verhältnisse lassen die Wahl auf die Variante des Erdwärmekollektors fallen. Dies lässt sich dadurch begründen, dass genügend Grundstücksfläche für die Verlegung der Kollektoren zur Verfügung steht und die teurere Variante der Erdwärmesonde nicht in Anspruch genommen werden muss. Die Alternative des Grundwasserbrunnens scheidet ebenfalls aus, da keine nutzbaren Grundwasservorkommen am Standort vorhanden sind.

### Absorberfläche:

Die Berechnung der benötigten Fläche für die Auslegung der Kollektoren wird vor allem durch die vorherrschenden Bodenverhältnisse beeinflusst. Wie aus der Analyse der Bodenbeschaffenheit hervorgeht, handelt es sich um einen teilweise wasserführenden Boden.

Bodenbeschaffenheit	Spezifische Entzugsleistung	
	bei 1800 Volllastnutzungsstunden / Jahr	bei 2400 Volllastnutzungsstunden / Jahr
Trockener, nichtbindiger Boden	10 W / m <sup>2</sup>	8 W / m <sup>2</sup>
Bindiger Boden, feucht	20-30 W / m <sup>2</sup>	16-24 W / m <sup>2</sup>
Wassergesättigter Sand/Kies	40 W / m <sup>2</sup>	32 W / m <sup>2</sup>

Tabelle 1: Mögliche spezifische Entzugsleistungen für Erdwärmekollektoren<sup>40</sup>

Aus der Tabelle ist ersichtlich, dass bei wassergesättigten Böden mit bis zu 40 W / m<sup>2</sup> spezifischer Entzugsleistung gerechnet werden kann. Für die Berechnung wird etwas vorsichtiger eine Entzugsleistung von 30 W / m<sup>2</sup> angenommen.

Die voraussichtliche Nutzungslaufzeit einer Wärmepumpenanlage liegt bei 1.800 Stunden pro Jahr.<sup>41</sup>

Die benötigte Kollektorfläche (KF) kann mittels der benötigten Leistung der Anlage und der Entzugsleistung ermittelt werden. Anschließend fließt noch der Abstand der Rohrleitungen untereinander (da = 0,8 m) in die Berechnung mit ein.

$$KF = \frac{P_w}{30 \text{ W / m}^2} * da = \frac{12.360 \text{ W}}{30 \text{ W / m}^2} * 0,8 \text{ m} = 329,6 \text{ m}^2$$

Mit etwas zusätzlicher Sicherheit kann von einer 350 m<sup>2</sup> großen Kollektorfläche ausgegangen werden.

<sup>40</sup> Vgl. VDI 4640 Blatt 2 (2001).

<sup>41</sup> Vgl. VDI 4640 Blatt 1 (2010).

### Anlagenbestandteile:

Für eine aussagekräftige Durchführung der Berechnung wurden aus Literatur- und Internetquellen Erfahrungswerte herangezogen, um einen Nachweis über die Anschaffungskosten für die Errichtung einer Heizungsanlage treffen zu können.

Geothermieranlage	
Kostenbestandteil	Betrag
Wärmepumpe	€ 8.100,-
Warmwasserspeicher	€ 1.366,-
Diverse Anlagenbestandteile	€ 1.500,-
Erdwärmekollektoren	€ 4.000,-
Installationskosten und Abnahme	€ 3.000,-

Tabelle 2: Kostenaufstellung der Geothermieranlage (eigene Darstellung)

Als Anlage wurde eine VIESSMANN (Modell: Vitocal 200-G) Wärmepumpe ausgewählt, die die geforderte Heizlast von 12,36 kW bewältigen kann.<sup>42</sup> Beim Warmwasserspeicher fiel die Entscheidung auf ein dazu passendes Modell von ROTEX (Modell: HybridCube) mit einem Fassungsvermögen von 300 Litern.<sup>43</sup> Die Kosten für die Erdwärmekollektoren ergeben sich aus der benötigten Heizleistung. Pro kW Heizlast kann hier mit 300 Euro gerechnet werden.<sup>44</sup>

### 4.1.3 Berechnung

#### Investitionskosten

Die Investitionskosten ergeben sich aus der Summe der in Punkt 4.1.2 angeführten Kosten der Anlagenbestandteile.

Investitionskosten  $I_0 = 17.966 \text{ €}$

#### Kapitalgebundene Kosten

Die kapitalgebunden Kosten spiegeln die investitionsabhängigen Kosten, die für Instandhaltung der Anlage pro Jahr aufgewendet werden müssen, wider. In die Berechnung flie-

<sup>42</sup> Vgl. URL: <http://www.waermepumpenshop.com/viessmann-vitocal-200-g-13-0-kw-sole-wasser-warmepu-mpe-i.html> (Zugriff: 06.04.2013).

<sup>43</sup> Vgl. URL: <http://www.unidomo.eu/warmwasser-speicher/rotex-hybridcube-hyc-343-19-0-kunststoff-warmwasserspeicher/a-27409/> (Zugriff: 06.04.2013).

<sup>44</sup> Vgl. URL: <http://www.erdwaermepumpe.at/03kosten.php> (Zugriff: 06.04.2013).



ßen alle Komponenten ein, die eine Instandhaltung benötigen. Erdwärmekollektoren gelten allgemein als wartungsfrei.<sup>45</sup>

$$\text{Kapitalgebundene Kosten } K_K = f_K \cdot I_0$$

Der Wert  $f_K$  gibt den Anteil der Instandhaltungskosten an der Investitionssumme wieder und ist je nach Heizungssystem unterschiedlich.<sup>46</sup>

$$K_K = 0,005 \cdot (8.100 \text{ €} + 1.366 \text{ €} + 1.500 \text{ €}) = 54,83 \approx \mathbf{55 \text{ €}}$$

### Verbrauchsgebundene Kosten

Zur Erzeugung von Wärme wird ein Betriebsstoff benötigt. Die der Anlage zugeführten Betriebsstoffe verursachen Kosten, die sich als verbrauchsgebundene Kosten klassifizieren lassen.<sup>47</sup>

$$\text{Verbrauchsgebundene Kosten } K_V = K_a + K_{aHilf}$$

Ein wichtiger Bestandteil zur Berechnung der verbrauchsgebundenen Kosten ist die Jahresarbeitszahl der Anlage. Je höher der Wert ist, desto niedriger ist der Verbrauch der Anlage. Die Jahresarbeitszahl lässt sich aus den Datenblättern der gewählten Anlagenkomponenten ermitteln.

Jahresarbeitszahl ( $\beta_a$ ) Wärmepumpe VIESSMANN Vitocal 200-G: 4,5

Für die Berechnung des Verbrauchs ist auch immer die Höhe der Kosten der Betriebsmittel von Bedeutung. Zur Ermittlung der verbrauchsgebundenen Kosten wurden hier die aktuell günstigsten Anbieter ausgewählt (Stand: Mai 2013 - ohne Neukundenrabatt).<sup>48</sup>

Strompreis ( $k_{SA}$ ): 0,1890 €/kWh

Um die Kosten für die benötigte Hilfsenergie für die Anlage in die Berechnung einfließen lassen zu können, wird standardmäßig eine Leistungsaufnahme der Umwälzpumpe von 132 W angenommen.<sup>49</sup> Die voraussichtliche Nutzungslaufzeit der Umwälzpumpe wird aus Punkt 3.2.5 übernommen und liegt bei 1.800 h/a.

---

<sup>45</sup> Vgl. Schlabbach, Drescher, Kley (2012), S.145.

<sup>46</sup> Vgl. VDI 2067 Blatt 1 (2012).

<sup>47</sup> Vgl. Schlabbach, Drescher, Kley (2012), S.145.

<sup>48</sup> Vgl. URL: <http://www.e-control.at/de/konsumenten/strom/strompreis/strompreis-monitor> (Zugriff: 12.05.2013).

<sup>49</sup> Vgl. Schlabbach, Drescher, Kley (2012), S.146.

$$\text{Jahresenergiebedarf } B_a = \frac{Q_H + Q_{W_{\text{ges}}}}{\beta_a} = \frac{14.200 \text{ kWh/a} + 7.543 \text{ kWh/a}}{0,9} = 4.831,77$$

$$\approx 4.832 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Jahresenergiekosten } K_a = B_a \cdot k_{SA} = 4.832 \text{ kWh/a} \cdot 0,1890 \text{ €/kWh} = 913,25 \approx 913 \text{ €}$$

$$\text{Jahreshilfsenergiekosten } K_{aHilf} = 132 \text{ W} \cdot 1.800 \text{ h/a} \cdot 0,1890 \text{ €/kWh} = 44,90 \approx 45 \text{ €}$$

$$K_v = K_a + K_{aHilf} = 913 \text{ €} + 45 \text{ €} = \mathbf{958 \text{ €}}$$

### Betriebsgebundene Kosten

Die Gewährleistung des laufenden Betriebs zieht erfahrungsgemäß Kosten für Inspektionen, Wartungen und Reinigungen mit sich. Die hier ermittelten Kosten wurden durch Recherche von Internet und Literaturquellen ermittelt.<sup>50</sup>

$$\text{Betriebsgebundene Kosten } K_B = \mathbf{50 \text{ €}}$$

### Kapitalwert

Für die Ermittlung des Kapitalwerts werden die Barwerte aller Perioden benötigt. Zunächst wird der Barwertfaktor (BWF) berechnet. Die Höhe der Preissteigerung ( $j_x$ ) wird aus dem unter Punkt 3 definierten Wert übernommen. Die Entscheidung, auf kalkulatorische Zinsen( $i$ ) zu verzichten, wird ebenfalls berücksichtigt.

$$\text{BWF} = \frac{1 - \left(\frac{r_x}{q}\right)^t}{q - r_x} \quad r_x = 1 + \frac{j_x}{100} \quad q = 1 + \frac{i}{100}$$

$$\text{BWF} = \frac{1 - \left(\frac{r_x}{q}\right)^t}{q - r_x} = \frac{1 - \left(\frac{1,035}{1}\right)^{25}}{1 - 1,035} = 38,95$$

$$\text{Gesamtbarwert } BW_{\text{ges}} = (K_K + K_v + K_B) \cdot \text{BWF} = 1.063 \text{ €} \cdot 38,95 = 41.403,85 \text{ €} \approx 41.404 \text{ €}$$

$$\text{Kapitalwert } \mathbf{KW} = -I_0 - BW_{\text{ges}} = -17.966 \text{ €} - 41.404 \text{ €} = \mathbf{-59.370 \text{ €}}$$

Anm.: Der Kapitalwert ist negativ, da nur Ausgaben getätigt werden und keine Einnahmen stattfinden.

<sup>50</sup> Vgl. Schlabbach, Drescher, Kley (2012), S.147.



### Kostenvergleich

Um später eine Kostenvergleichsrechnung mit mehreren Alternativen durchzuführen zu können, werden die jährlichen Kosten der Anlage errechnet. Die Gesamtkosten ergeben sich aus der Addition von variablen und fixen Kosten. Wie schon beim Kapitalwert wird auch beim Kostenvergleich auf die Berücksichtigung der kalkulatorischen Zinsen verzichtet.

$$\begin{aligned} \text{Fixkosten } K_{\text{fix}} &= \text{kalk. Abschreibungen} + K_K + K_B = \frac{I_0}{t} + K_K + K_B = \\ &= \frac{17.966 \text{ €}}{25 \text{ Jahre}} + 55 \text{ €} + 50 \text{ €} = 778,64 \text{ €} \approx 779 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\text{variable Kosten } K_{\text{var}} = K_V = 958 \text{ €}$$

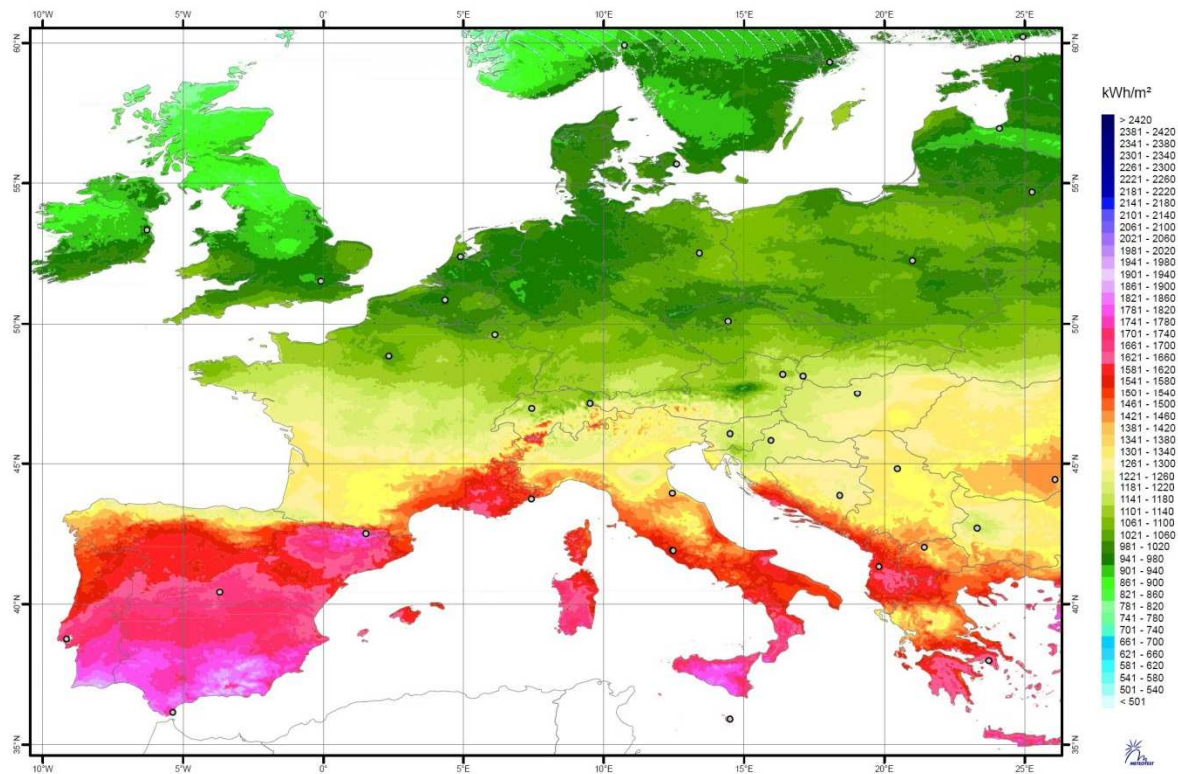
$$\text{jährliche Gesamtkosten } K_{\text{ges}} = K_{\text{fix}} + K_{\text{var}} = 779 \text{ €} + 958 \text{ €} = \mathbf{1.737 \text{ €}}$$

## 4.2 Sonnenstrahlung

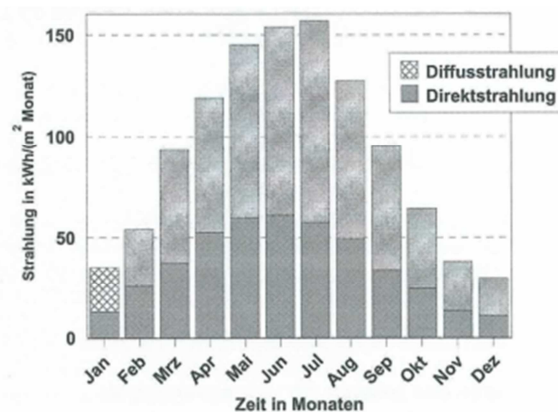
Die Strahlen des zentralen Gestirns unseres Sonnensystems stellen ein nahezu unerschöpfliches Angebot an Energie dar. Diese Strahlenenergie lässt sich in thermische (Solarthermie) oder elektrische (Photovoltaik) Energie umwandeln. Für die Nutzung der Sonnenenergie gilt grundsätzlich: Je näher sich eine Anlage zur Energiegewinnung am Äquator befindet, desto ergiebiger ist diese. Die Strahlung, die auf der Erdhülle auftrifft, weist eine Bestrahlungsstärke von durchschnittlich  $1.360,8 \text{ W/m}^2$  (Solarkonstante) auf und lässt je nach Lokation und Verlusten durch Reflexion, Absorption und Streuung folgende jährliche Energieerträge ( $\text{kWh/m}^2$ ) zu.<sup>51</sup>

---

<sup>51</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.55 ff.

Abb. 10: Langjähriges Mittel der Bestrahlungswerte in Europa<sup>52</sup>

Auch wenn in Südeuropa oder in der Sahara deutlich bessere Bestrahlungswerte vorliegen, so lässt auch die Lage in Deutschland oder Österreich eine sinnvolle Nutzung der Sonnenstrahlung zu. Die Werte, die aus Grafik 10 zu entnehmen sind, werden auch als Globalstrahlung bezeichnet und setzen sich aus der Diffus- und Direktstrahlung zusammen. Eine Abgrenzung der zwei Strahlungsarten ist notwendig, da die Solarthermie beide Strahlungsarten nutzen kann, die Photovoltaik aber nur aus der Direktstrahlung elektrische Energie gewinnen kann.

Abb. 11: Aufteilung von Diffus- und Direktstrahlung bezogen auf die Globalstrahlung<sup>53</sup>

<sup>52</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.64.

Zur optimalen Nutzung der Sonnenenergie ist auch die Neigung der Fläche, auf der die Strahlung auftrifft, von Bedeutung. Die Kenntnis über den Einfallswinkel der Sonne in dem Gebiet, in dem eine Anlage errichtet wird, ist von großer Wichtigkeit und kann bei Nichtbeachtung zu einer stark verminderten Energieausbeute führen.<sup>54</sup>

kWh/m <sup>2</sup>	Jan	Feb	Mär	Apr	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Horizontal	19	33	75	128	160	166	158	134	94	51	26	15	1059
10° Süd	23	39	84	138	165	170	162	142	103	58	33	19	1140
30° Süd	30	48	96	150	167	167	161	148	116	70	44	25	1220
37° Süd	32	50	98	151	165	163	157	148	118	72	47	27	1230
45° Süd	34	52	100	150	160	156	152	145	118	74	49	28	1220
60° Süd	36	53	98	142	145	139	136	134	115	75	52	30	1150
90° Süd	33	47	81	104	95	87	87	94	91	65	49	29	861
45° SO/SW	28	44	89	140	157	156	150	139	108	65	40	23	1140
45° O/W	17	30	68	115	141	146	139	120	86	46	24	14	944
90° O/W	11	20	45	76	90	92	87	78	57	31	16	9	611

Tabelle 3: Mittelwerte der jährlichen Bestrahlung auf verschieden orientierten Flächen<sup>55</sup>

Neben der Tatsache, dass die Sonne nur eine begrenzte Anzahl an Stunden am Tag scheint, können Abschattungen durch Bäume, Gebäude oder den Horizont den Ertrag einer Anlage weiter mindern und sind somit bei der Planung unbedingt zu berücksichtigen. Häufig wird daher vor Installationen einer Anlage ein Sonnenweg-Diagramm für den gewählten Standort erstellt.

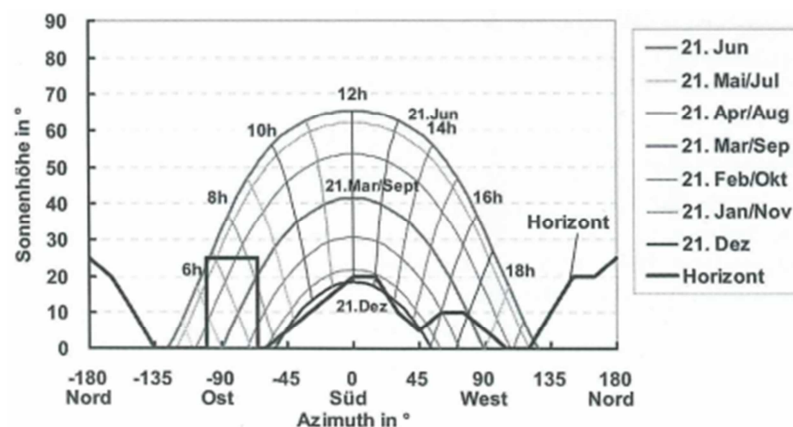


Abb. 12: Sonnenweg-Diagramm Beispiel für einen Standort mit 48° nördlicher Breite<sup>56</sup>

<sup>53</sup> Vgl. Kaltschmitt, Streicher (2009), S.96.

<sup>54</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.77.

<sup>55</sup> Vgl. ebenda, S.77.

<sup>56</sup> Vgl. Kaltschmitt, Streicher (2009), S.99.

## 4.2.1 Solarthermie

Der Begriff Solarthermie bezeichnet die Umwandlung von Sonnenstrahlung in thermische Energie. Die durch diesen Umwandlungsprozess gewonnene Wärme bietet etliche Einsatzmöglichkeiten an, die sich in folgende Unterpunkte gliedern lassen:<sup>57</sup>

- solare Schwimmbaderwärmung
- solare Trinkwassererwärmung
- solare Niedertemperaturwärme für Raumheizung
- solare Kühlung
- solare Prozesswärme
- solarthermische Stromerzeugung

Im Rahmen dieser Arbeit wird hauptsächlich auf die solare Trinkwassererwärmung und die Möglichkeit der Raumheizung mittels Solarthermie näher eingegangen.

### 4.2.1.1 Funktionsprinzip

Das Grundprinzip einer jeden Solarthermieanlage ist trotz verschiedener Bauformen immer ident. Über Kollektoren wird die solare Diffus- und Direktstrahlung in Nutzwärme umgewandelt, mittels eines Trägermediums anschließend abgeführt und sofort verwendet oder gespeichert.<sup>58</sup> Das Herzstück einer Anlage ist der Kollektor.

#### Kollektorarten

Es gibt unterschiedlichste Arten von Kollektoren, deren Bauform je nach Einsatzgebiet gewählt wird. Die zwei gebräuchlichsten Typen sind Flach- und Vakuumkollektoren.

#### Flachkollektor:

Ein Flachkollektor besteht im Wesentlichen aus drei Hauptbestandteilen:

- transparente Abdeckung
- Kollektorgehäuse
- Absorber

---

<sup>57</sup> Vgl. Kaltschmitt, Streicher (2009), S.90.

<sup>58</sup> Vgl. ebenda, S.120.

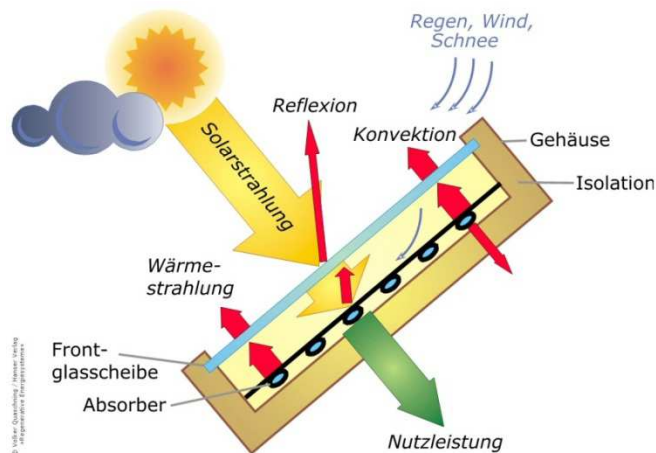


Abb. 13: Schematische Darstellung eines Flachkollektors<sup>59</sup>

Eintreffendes Sonnenlicht trifft zuerst auf die Abdeckung des Kollektors. Diese besteht meist aus Glas oder Kunststoff. Die Abdeckung hat zur Aufgabe, die Solarstrahlung möglichst verlustfrei hindurch zu lassen. Nach dem Passieren der Abdeckung trifft die Strahlung auf den Absorber, der das Sonnenlicht in Wärme umwandelt. Diese umgewandelte Wärme wird vom Absorber an einen Wasserkreislauf abgegeben, der den Absorber durchströmt.

Der Kreislauf transportiert die Wärme dann über ein Leitungsnetz zu einem Speicher oder den Direktverbraucher. Die Herausforderung für die Hersteller von Kollektoren ist es, die Wärmeverluste möglichst gering zu halten, um einen hohen Wirkungsgrad der Anlage zu erzielen. Hauptaugenmerk liegt hier auf der Isolation der Kollektoren, um nicht zu viel Wärme an die Umgebung zu emittieren. Die Beschaffenheit der Kollektorabdeckung ist ebenfalls von Bedeutung, da diese zwar die Solarstrahlung ungehindert hindurch lassen muss, die Wärmeenergie jedoch im Inneren des Kollektors nicht nach außen abgegeben werden soll.<sup>60</sup> Bevorzugte Einsatzgebiete sind die Schwimmbaderwärmung und die Warmwasseraufbereitung. Bei entsprechender Planung können Flachkollektoren auch als Heizungsunterstützung dienen.

#### Vakuumröhrenkollektor:

Die grundsätzliche Funktionsweise des Vakuumkollektors entspricht der des Flachkollektors. Sonnenstrahlen treffen durch die Kollektorabdeckung auf den Absorber, der die Sonnenstrahlen in Wärme umwandelt und an einen Flüssigkeitskreislauf abgibt.

<sup>59</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.106.

<sup>60</sup> Vgl. ebenda, S.106 ff.

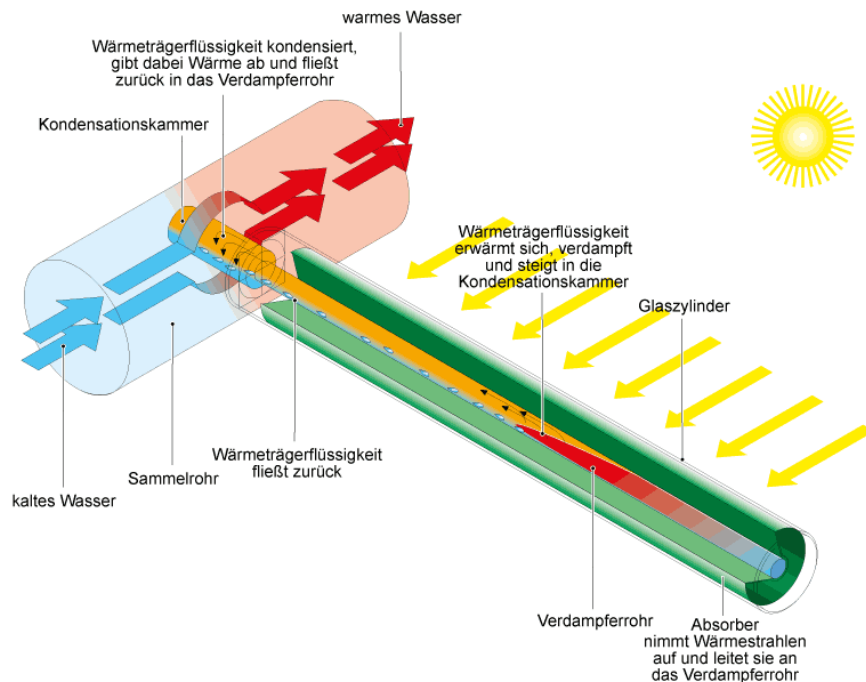


Abb. 14: Schematische Darstellung eines Vakuumkollektors<sup>61</sup>

Der entscheidende Unterschied ist, dass der Absorber in einem Rohr eingebettet ist, in dem ein Vakuum herrscht. Wärmeverluste an die Umgebung sind dadurch stark reduziert, da im Vakuum kein Wärmeträgermedium existiert, das die Wärme an die Umgebung abgeben könnte. Durch die Röhrenform hat diese Kollektorform zwar einen etwas schlechteren optischen Wirkungsgrad als der Flachkollektor, dies macht er jedoch durch die geringen Wärmeverluste wett. Als Einsatzgebiet eignet sich der Vakuumkollektor neben der Schwimmbaderwärmung, Warmwasseraufbereitung und der Heizungsunterstützung auch zur Prozesswärmerzeugung, da er aufgrund seiner Bauart höhere Temperaturen erreichen kann. Der Vakuumkollektor ist gegenüber dem Flachkollektor meist die bessere Wahl, wenn nur eine begrenzte Dachfläche zur Verfügung steht. Der einzige Nachteil sind die deutlich höheren Anschaffungskosten.<sup>62</sup>

### Heizen mit Solarthermie

Neben dem Angebot an verschiedenen Kollektoren stehen auch unterschiedliche Möglichkeiten der Raumheizung mittels Solarthermie zur Verfügung.

#### Solare Heizungsunterstützung:

Die gebräuchlichste Variante der Solarthermie besteht in der Warmwassererzeugung und Heizungsunterstützung durch Solarthermie. Dazu werden zwei getrennte Flüssigkeits-

<sup>61</sup> Vgl. URL: <http://www.hark.de/produkte/zubehoer/erneuerbare-energien/vakuum-roehrenkollektor-effizienz-mit-perfekter-optik.html> (Zugriff: 11.05.2013).

<sup>62</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.109 f.

kreisläufe und ein Kombispeicher benötigt. Im Frühling, Sommer und Herbst lässt sich ein Einfamilienhaus fast gänzlich mit solarer Energie versorgen. Im Winter muss jedoch unterstützend ein Heizkessel eingreifen, um den Wärmebedarf decken zu können.<sup>63</sup>

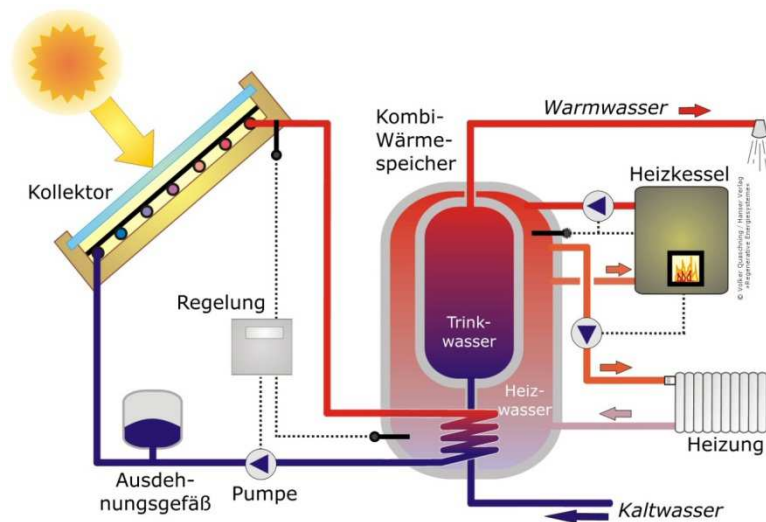


Abb. 15: Solarthermisches System mit separater Heizungsunterstützung<sup>64</sup>

Dieses System bietet die Sicherheit, dass auch an mehreren aneinander folgenden Tagen mit schwacher solarer Ausbeute keine Gefahr besteht, dass es zu einem Engpass in der Wärmeversorgung kommt. Meist werden als unterstützende Heizkessel Pellets- oder Gasöfen installiert. Hier muss bedacht werden, dass zusätzliche Investitions- und Folgekosten (Gas-, Pelletspreis) entstehen.

#### Rein solare Heizung:

Eine noch seltene Form der Raumheizung ist das Heizen mit rein solarer Energie. Rein solare Heizsysteme benötigen eine sehr gute Gebäudedämmung, um möglichst wenig Wärme an die Außenwelt abzugeben. Zusätzlich wird ein saisonaler Schichtenspeicher benötigt, der das Wasser in den Sommermonaten auf hohe Temperaturen bringt, um dieses dann im Winter bereitzustellen. Die Ausmaße eines solchen Speichers betragen für Einfamilienhäuser 30 bis 50 m<sup>3</sup>.<sup>65</sup> Je größer das Haus ist, desto größer muss auch die Kollektorenfläche sein, um den Speicher aufheizen zu können.

<sup>63</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.99.

<sup>64</sup> Vgl. ebenda, S.99.

<sup>65</sup> Vgl. ebenda, S.100.



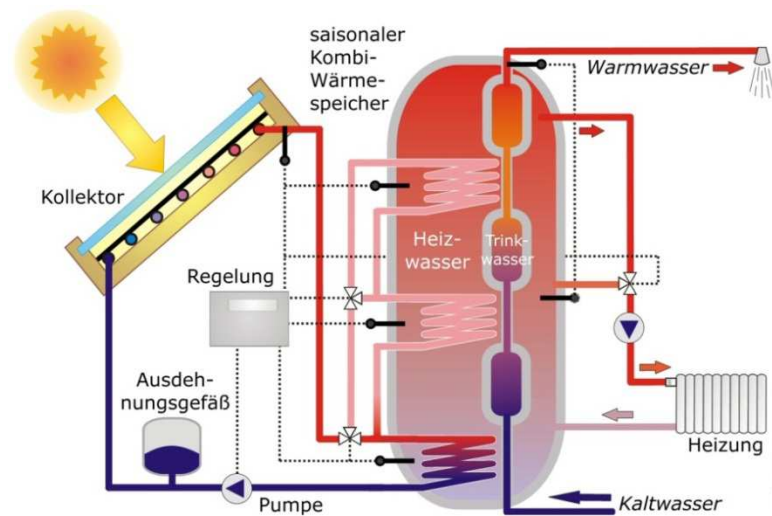


Abb. 16: Solarthermisches System ohne zusätzliche Heizungsunterstützung<sup>66</sup>

Im Speicher wird warmes Wasser aufgrund der geringeren Dichte am oberen Ende gespeichert, und kaltes Wasser befindet sich am Boden. Um Verwirbelungen und ein Durchmischen zu vermeiden, erfolgt die Einbringung und die Wasserentnahme nur an jenen Stellen, an denen die gewünschte Temperatur im Speicher vorherrscht.<sup>67</sup>

#### 4.2.1.2 Bezug auf den konkreten Fall

##### Ergiebigkeit der Sonnenstrahlung

Am Standort des neu zu errichtenden Einfamilienhauses kann von einer jährlichen durchschnittlichen Globalstrahlungsleistung (Esol) von 1.100 kWh/m<sup>2</sup> ausgegangen werden.

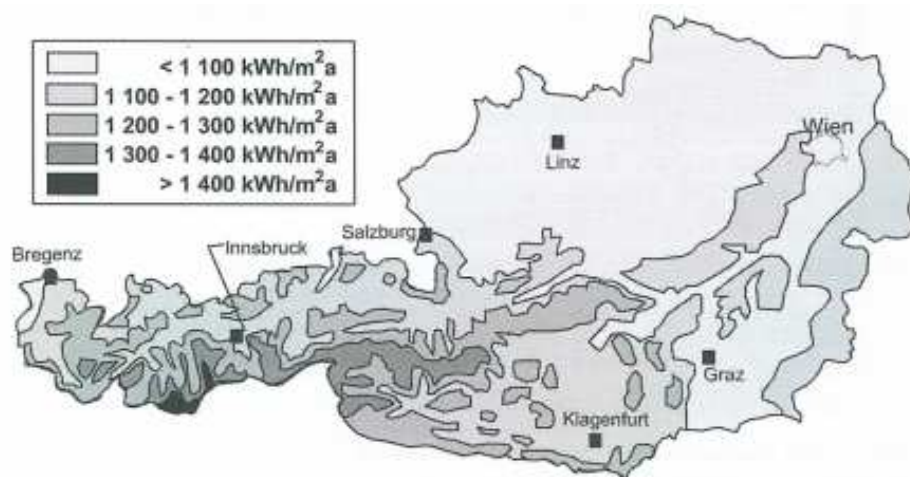


Abb. 17: Verteilung der langjährigen Globalstrahlungsmittelwerte in Österreich<sup>68</sup>

<sup>66</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.100.

<sup>67</sup> Vgl. ebenda, S.100.

<sup>68</sup> Vgl. Kaltschmitt, Streicher (2009), S.97.



Dieser Wert stellt eine wichtige Größe bei der Berechnung von Solaranlagen dar und ist nicht beeinflussbar. Er unterliegt kleinen, ökologisch bedingten Schwankungen ist aber, über einen längeren Zeitraum gesehen, als konstant zu betrachten.

### Ausrichtung der Kollektoren

Um die einfallende Strahlung optimal ausnutzen zu können, ist eine korrekte Ausrichtung der Kollektoren von hoher Bedeutung. Die Kollektoren sollen auf dem Dach des Einfamilienhauses installiert werden, womit eine Abschattung durch angrenzende Vegetation und Gebäude in der momentanen Situation ausgeschlossen werden kann. Folgendes Diagramm zeigt die maximal möglichen Erträge der einfallenden Globalstrahlung für die angegebene Ausrichtung.

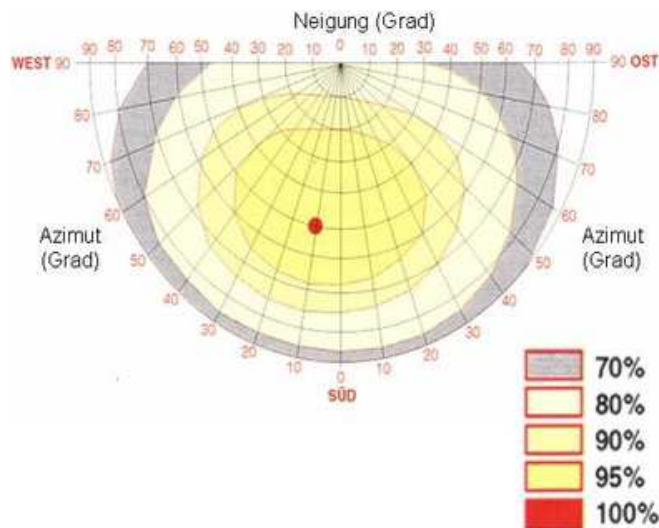


Abb. 18: Ertragsprognose für eine durchschnittlichen österreichischen Standort<sup>69</sup>

Es lässt sich erkennen, dass eine Ausrichtung nach Süden prinzipiell die besten Resultate liefert. Das optimale Ergebnis wird bei einer Ausrichtung von 10° Südwest und einer Dachneigung von 50° erreicht. Die leichte Orientierung der ertragreichen Zonen nach Westen ist bedingt durch die erhöhten Umgebungstemperaturen am Nachmittag, was einen positiven Einfluss auf die Erwärmung der Kollektoren hat.

Eine optisch vertretbare Integration des Einfamilienhauses in die Umgebung lässt eine Ausrichtung der Gebäudes von 20° Südwest zu. Die Dachkonstruktion soll als Satteldach verwirklicht werden, womit auch steilere Dachneigungen erreicht werden können. Als Dachneigung werden 40° gewählt. Durch diese Rahmenparameter kann die Solaranlage sehr nahe am Optimum arbeiten.

<sup>69</sup> Vgl. URL: <http://www.elektro-hirschvogel.de/247.html> (Zugriff: 20.04.2013).

### Dachfläche:

Für die Anbringung von Kollektoren ergibt sich durch die Bauweise eine abschattungsfreie Dachfläche von maximal 100 m<sup>2</sup>.

### **Auswahl der solaren Heizvariante**

Zur Auswahl steht die ganzjährige Heizung mit rein solarer Energie oder die unterstützende Solarheizung, die in den Wintermonaten ein zusätzliches Heizsystem erfordert.

Durch die bereits bekannten Rahmenparameter in Bezug auf die Größe des Einfamilienhauses und der zur Verfügung stehenden Dachfläche kann die Variante der reinen Solarheizung ausgeschlossen werden. Bereits realisierte Projekte, auf die in Internetquellen und Literatur verwiesen wird, zeigen auf, dass für eine zu beheizende Fläche von 284 m<sup>2</sup> und einer zur Verfügung stehenden Dachfläche von 100 m<sup>2</sup> bei einem Niedrigenergiehaus kein ökonomisch sinnvoller Betrieb bewerkstelligt werden kann.<sup>70</sup> Es müsste ein Speicher > 100 m<sup>3</sup> installiert werden, wodurch die Investitionskosten der Anlage enorm steigen würden.

Die Wahl muss daher auf eine solarthermische Anlage mit Heizunterstützung fallen. Als zusätzliches Heizsystem wird häufig auf einen Gasbrennwertkessel oder auf eine Heizung, die auf Biomasse basiert, zurückgegriffen.

### **Solarer Deckungsgrad**

Der solare Deckungsgrad gibt an, in welchem Ausmaß der Energiebedarf durch den Einsatz von Solarthermie gedeckt ist.<sup>71</sup> Dieser Parameter ist zur Berechnung der Dimensionierung der Anlage von hoher Bedeutung.

---

<sup>70</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.134.

<sup>71</sup> Vgl. URL: <http://www.umweltdatenbank.de/cms/lexikon/lexikon-s/1754-solarer-deckungsgrad.html> (Zugriff: 21.04.2013).

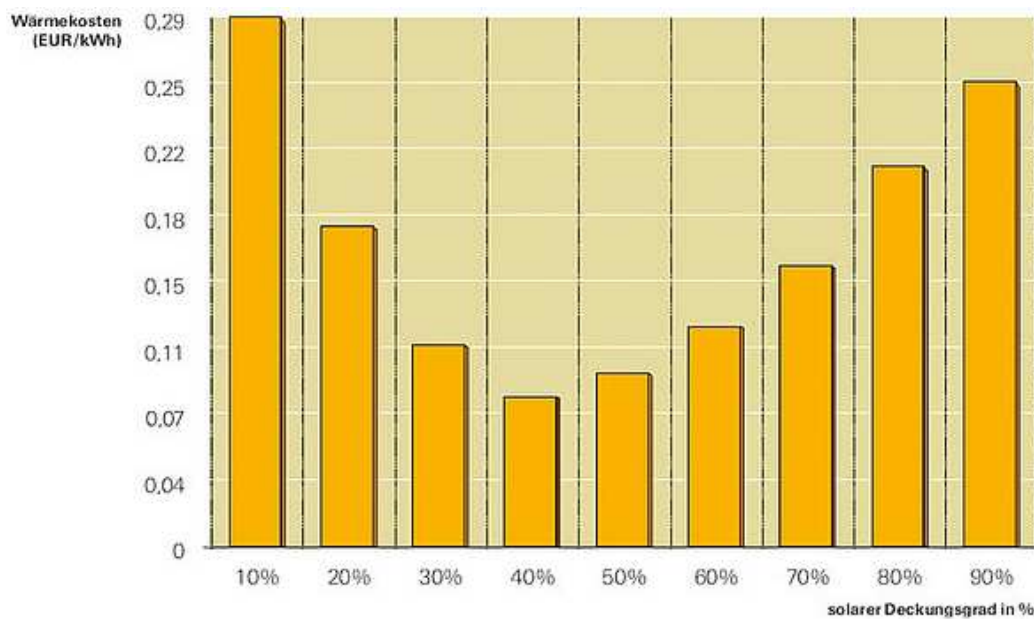


Abb. 19: Wärmekosten in Abhängigkeit vom solaren Deckungsgrad<sup>72</sup>

Die Grafik verdeutlicht, dass eine Überdimensionierung einer Solaranlage ökonomisch nicht von Vorteil ist. Für die Heizunterstützung wird daher ein maximaler Deckungsgrad von 50 % angestrebt. Bei Anlagen zur reinen Brauchwassererwärmung können auch Deckungsgrade bis zu 70 % sinnvoll erscheinen, da diese Anlagen generell sehr klein ausfallen und nur wenige Quadratmeter Kollektorfläche benötigt werden.<sup>73</sup>

#### Systemnutzungsgrad:

Der Systemnutzungsgrad gibt an, in welchem Ausmaß die erzeugte Energie letztendlich auch verbraucht werden kann.<sup>74</sup> Ein massiver Überschuss an Energie führt also zu einem relativ niedrigen Systemnutzungsgrad.

<sup>72</sup> Vgl. URL: <http://www.bramac-solar.at/fuer-profis/dimensionierung.html> (Zugriff: 21.04.2013).

<sup>73</sup> Vgl. URL: [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Solar\\_Solarer-Deckungsgrad\\_165858.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Solar_Solarer-Deckungsgrad_165858.html) (Zugriff: 21.04.2013).

<sup>74</sup> Vgl. URL: <http://www.solarthermie.net/wissen/systemnutzungsgrad> (Zugriff: 22.04.2013).

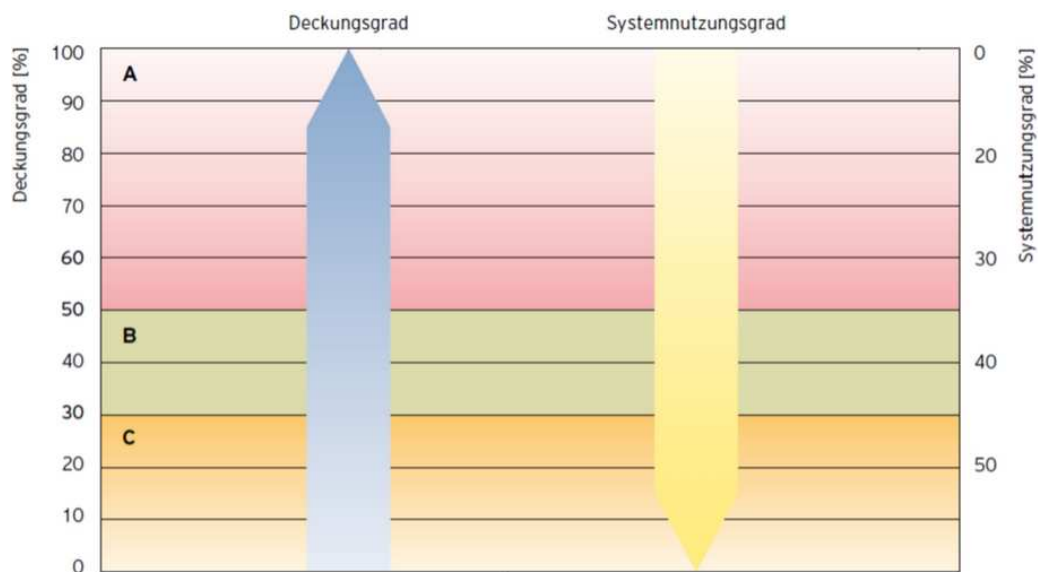


Abb. 20: Abhängigkeit des Systemnutzungsgrades vom solaren Deckungsgrad<sup>75</sup>

Neben dem solaren Deckungsgrad wird der Systemnutzungsgrad auch durch den Wirkungsgrad der Kollektoren sowie durch optische und thermische Verluste beeinflusst. In der Praxis werden Systemnutzungsgrade von 20 bis 50 % verzeichnet.<sup>76</sup> Vakuumröhrenkollektoren verzeichnen prinzipiell höhere Systemnutzungsgrade als Flachkollektoren.

### Auswahl der Kollektorvariante

Die Entscheidung über den Einsatz von Flach- oder Vakuumkollektoren erfordert die Kenntnis über den Wirkungsgrad der einzelnen Kolleortypen.

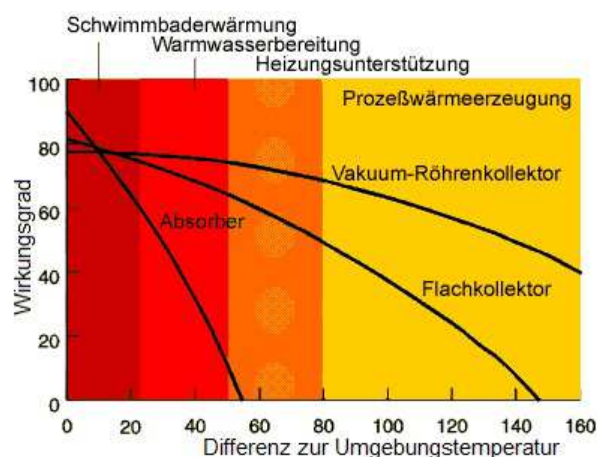


Abb. 21: Wirkungsgrad der Kollektoren in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur<sup>77</sup>

<sup>75</sup> Vgl. URL: <http://www.sbz-monteur.de/2011/03/04/erklar-mal-systemnutzungsgrad/> (Zugriff: 21.04.2013).

<sup>76</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.132.

<sup>77</sup> Vgl. URL: <http://www.fys-online.de/wissen/ph/solar.htm> (Zugriff: 21.04.2013).

Aus Abbildung 22 ist ersichtlich, dass Vakuumröhrenkollektoren konstruktionsbedingt einen höheren Wirkungsgrad aufweisen. Die Anschaffungskosten eines Flachkollektors betragen aber fast nur die Hälfte der des Röhrenkollektors.<sup>78</sup> Es kann also der nachteilige Wirkungsgrad der Flachkollektoren durch eine Vergrößerung der Kollektorfläche aufgehoben werden, da eine mehr als ausreichende Dachfläche von maximal 100 m<sup>2</sup> vorhanden ist.

### Berechnung der Kollektorfläche

Unter Einbeziehung der bereits bekannten Werte des Heiz- und Warmwasserbedarfs kann nun die zur Solarkollektorinstallation benötigte Dachfläche berechnet werden, um den Bedarf des Einfamilienhauses zu decken. Folgende Vorgehensweise wird zur Ermittlung angewandt, unter der Annahme eines gewünschten Deckungsgrades ( $f_s$ ) von 50 % und einem Systemnutzungsgrad der Flachkollektoren ( $\eta_{sys}$ ) von 30 %.

$$\text{Solarer Energiebedarf } Q_{sol} = \frac{Q_{ges} \cdot f_s}{\eta_{sys}} = \frac{(14.200 \text{ kWh/a} + 7.543 \text{ kWh/a}) \cdot 0,5}{0,3} = 36.238,33 \text{ kWh/a} \approx 36.238 \text{ kWh/a}$$

Die solare Einstrahlung Bedarf einer Korrektur, da durch die Dachausrichtung ( $k_1$ ) nur 95 % der ankommenden Energie verwendet werden kann. Abschattungskorrekturen ( $k_2$ ) müssen nicht vorgenommen werden.

$$\text{Nutzbare Sonneneinstrahlung } E_{koll} = E_{sol} \cdot k_1 \cdot k_2 = 1.100 \text{ kWh/m}^2 \cdot 0,95 \cdot 1 = 1.045 \text{ kWh/m}^2$$

Durch den solaren Energiebedarf und die Einstrahlung in die Kollektoren wird nun die Kollektorfläche errechnet.

$$\text{Notwendige Kollektorfläche } A_{koll} = \frac{Q_{sol}}{E_{koll}} = \frac{36.238 \text{ kWh/a}}{1.045 \text{ kWh/m}^2} = 34,68 \text{ m}^2$$

### Anlagenbestandteile:

Nach Ermittlung der notwendigen Spezifikationen kann mit der Ermittlung der Kostenbestandteile begonnen werden. Für die Überbrückung der Wintermonate wird eine Gasheizung installiert. Alternative Möglichkeiten zur Heizungsunterstützung werden unter Punkt 6.2.1 diskutiert.

---

<sup>78</sup> Vgl. URL: <http://www.heizfaktor.de/solar> (Zugriff: 21.04.2013).

Solarthermieranlage zur Heizungsunterstützung	
Kostenbestandteil	Betrag
Solarkollektoren	€ 7.939,-
Kombispeicher	€ 2.592,-
Gasbrennwertkessel	€ 1.968,-
Schornstein	€ 2.500,-
Gasanschluss	€ 1.500,-
Diverse Anlagenbestandteile	€ 2.000,-
Installationskosten und Abnahme	€ 3.000,-

Tabelle 4: Kostenaufstellung der Solarthermieranlage (eigene Darstellung)

Es wurden 12 WOLF (Modell: TopSon F3-1) Flachkollektormodule mit insgesamt 36 m<sup>2</sup> Absorberfläche ausgewählt.<sup>79</sup> Beim Kombispeicher fiel die Wahl auf einen 1.000 Liter WOLF (Modell: BSP 1000) Speicher, der kompatibel mit Solar, Biomasse und fossilen Brennstoffheizungen ist.<sup>80</sup> Die Gasbrennwertanlage wird aus Punkt 5.2 übernommen. Die restlichen Preise wurden durch Erfahrungswerte von bereits realisierten Projekten aus Literatur- und Internetquellen erhoben.

#### 4.2.1.3 Berechnung

##### Investitionskosten

Die Investitionskosten ergeben sich aus der Summe der Kosten der Anlagenbestandteile.

Investitionskosten  $I_0 = 21.499 \text{ €}$

##### Kapitalgebundene Kosten

Es entstehen Kosten für den Kessel, die Solarmodule, den Warmwasserspeicher und die diversen Anlagenbestandteile.

$$\text{Kapitalgebundene Kosten } K_K = f_K \cdot I_0$$

Der prozentuale Anteil der Instandsetzungskosten ( $f_K$ ) wird mit 0,01 festgelegt.<sup>81</sup>

$$K_K = 0,01 \cdot (7.939 \text{ €} + 1.968 \text{ €} + 1.024 \text{ €} + 2.000 \text{ €}) = 129,31 \approx 129 \text{ €}$$

<sup>79</sup> Vgl. URL: <http://www.heizfaktor.de/solar/flachkollektoren/wolf/1302/wolf-hochleistungs-sonnenkollektor-f3-1-hochkant?c=252> (Zugriff: 22.04.2013).

<sup>80</sup> Vgl. URL: <http://www.heizfaktor.de/heizung/speicher/wolf/1288/wolf-schichtenspeicher-bsp-1000?c=249> (Zugriff: 22.04.2013).

<sup>81</sup> Vgl. VDI 2067 Blatt 1 (2012).

### Verbrauchsgebundene Kosten

Zum Betrieb der Solaranlage wird lediglich eine Umwälzpumpe benötigt. Es fallen keine sonstigen verbrauchsgebundenen Kosten an. Die zur Verbrauchsberechnung der Gasanlage benötigte Jahresnutzungszahl ( $\beta_b$ ) ist mit 90% im Datenblatt des Herstellers angegeben. Der aktuell günstigste Gastarif ( $k_{SA}$ ) liegt bei 0,0637 € / kWh (Stand: Mai 2013 - ohne Neukundenrabatt).<sup>82</sup> Durch den solaren Deckungsgrad von 50% wird der jährliche Gasbedarf halbiert.

Verbrauchsgebundene Kosten $K_V = K_a + K_{aHilf}$
--

Als Umwälzpumpe kommt abermals eine Pumpe mit einer Leistung von 132 W zum Einsatz, die zur Berechnung der Hilfsenergie herangezogen wird.

$$\text{Jahresenergiebedarf } B_a = \frac{\left( \frac{Q_H + Q_{Wges}}{\beta_b} \right)}{2} = \frac{\left( \frac{14.200 \text{ kWh/a} + 7.543 \text{ kWh/a}}{0,9} \right)}{2} = 12.079,44$$

$$\approx 12.079 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Jahresenergiekosten } K_a = B_a \cdot k_{SA} = 12.079 \text{ kWh/a} \cdot 0,0637 \text{ €/kWh} = 769,43 \approx 769 \text{ €}$$

$$\text{Jahreshilfsenergiekosten } K_{aHilf} = 132 \text{ W} \cdot 1.800 \text{ h/a} \cdot 0,1890 \text{ €/kWh} = 44,90 \approx 45 \text{ €}$$

$$K_V = K_a + K_{aHilf} = 769 \text{ €} + 45 \text{ €} = \mathbf{814 \text{ €}}$$

### Betriebsgebundene Kosten

Die betriebsgebundenen Kosten werden zu einem Großteil von der Gasanlage verursacht. Hier ist mit einem Betrag von 170 € zu rechnen.<sup>83</sup> Bei der Solaranlage sind jährlichen Kosten von 80 € einzukalkulieren.<sup>84</sup>

$$\text{Betriebsgebundene Kosten } K_B = 170 \text{ €} + 80 \text{ €} = \mathbf{250 \text{ €}}$$

---

<sup>82</sup> Vgl. URL: <http://www.e-control.at/de/konsumenten/gas/der-gaspreis/gaspreis-monitor> (Zugriff: 12.05.2013).

<sup>83</sup> Vgl. Schlabbach, Drescher, Kley (2012), S.147.

<sup>84</sup> Vgl. URL: <http://www.solaranlage-ratgeber.de/solarthermie/solarthermie-wirtschaftlichkeit/solarthermie-betriebskosten> (Zugriff: 19.05.2013).

**Kapitalwert**

$$BWF = \frac{1 - \left(\frac{r_x}{q}\right)^t}{q - r_x} = \frac{1 - \left(\frac{1,035}{1}\right)^{25}}{1 - 1,035} = 38,95$$

$$\text{Gesamtbarwert } BW_{\text{ges}} = (K_K + K_V + K_B) * BWF = 1.193 \text{ €} * 38,95 = 46.467,35 \text{ €} \approx 46.467 \text{ €}$$

$$\text{Kapitalwert } KW = - I_0 - BW_{\text{ges}} = - 21.499 \text{ €} - 46.467 \text{ €} = - 67.966 \text{ €}$$

**Kostenvergleich**

$$\begin{aligned} \text{Fixkosten } K_{\text{fix}} &= \text{kalk. Abschreibungen} + K_K + K_B = \frac{I_0}{t} + K_K + K_B = \\ &= \frac{21.499 \text{ €}}{25 \text{ Jahre}} + 129 \text{ €} + 250 \text{ €} = 1.238,96 \text{ €} \approx 1.239 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\text{variable Kosten } K_{\text{var}} = K_V = 814 \text{ €}$$

$$\text{jährliche Gesamtkosten } K_{\text{ges}} = K_{\text{fix}} + K_{\text{var}} = 1.160 \text{ €} + 814 \text{ €} = 2.053 \text{ €}$$

**4.2.2 Photovoltaik**

Die Photovoltaik bezeichnet die Umwandlung von Sonnenstrahlung in elektrische Energie. Aufgrund fallender Herstellungskosten findet die solare Stromerzeugung immer mehr Anwendungsgebiete. Die Einsatzgebiete lassen sich grundsätzlich in zwei Gruppen gliedern. Auf der einen Seite finden sich die Inselanlagen ohne Zugang zum öffentlichen Stromnetz, für die die Photovoltaik als Strombezugsquelle dient. Auf der anderen Seite stehen die netzgekoppelten Anlagen, die den produzierten Strom entweder in das öffentliche Netz einspeisen oder selbst verbrauchen.

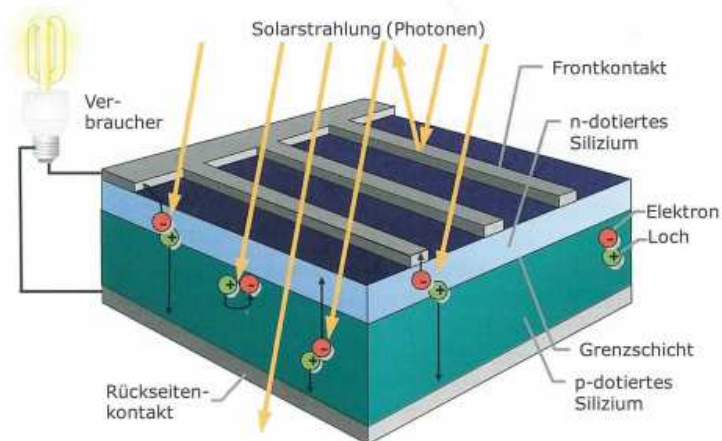
**4.2.2.1 Funktionsprinzip**

Die Funktionsweise einer Photovoltaikanlage beruht auf dem von Albert Einstein entdeckten und anschließend mit dem Physik-Nobelpreis ausgezeichneten photoelektrischen Effekt. Die genauen Abläufe im Inneren eines Photovoltaikmoduls erfordern ein tiefes Verständnis für Physik. Es erfolgt, vereinfacht dargestellt, eine direkte Umwandlung der Sonnenstrahlung in elektrische Energie durch das Freigeben von Elektronen im Inneren der Photovoltaikzelle. Die Energieerzeugung übernehmen Halbleiterelemente. Als Halbleiterelement wird hauptsächlich Silizium eingesetzt.<sup>85</sup>

---

<sup>85</sup> Vgl. Quaschnig (2010), S.103 ff.

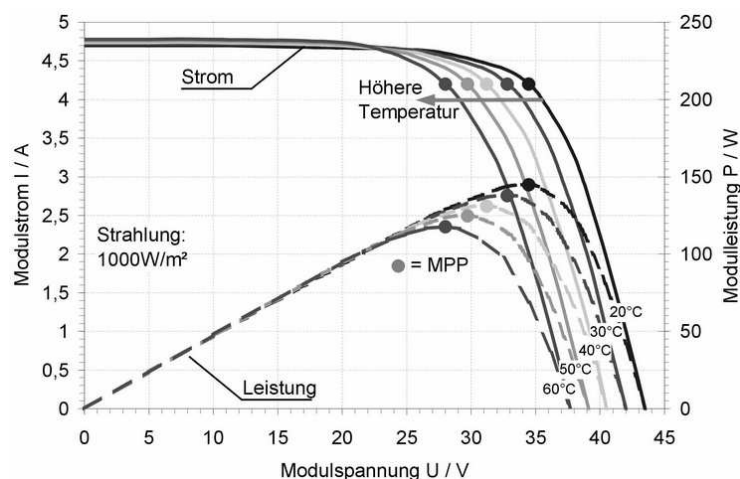


Abb. 22: Schematische Darstellung einer Photovoltaikzelle<sup>86</sup>

Jede Zelle besitzt eine p- und n-dotierte Siliziumschicht. Zwischen diesen beiden Schichten erfolgt dann die Erzeugung der elektrischen Energie, in Form von Gleichstrom.

### Wirkungsgrad:

Im Gegensatz zu solarthermischen Anlagen haben Photovoltaikanlagen einen geringeren Wirkungsgrad. In der Praxis werden von den Zellen maximal Wirkungsgrade bis 20 % erreicht. Um Berechnungen über die Leistungsabgabe von Modulen erstellen und vergleichbar machen zu können, wurden internationale Standardtestbedingungen (STC) definiert. Bei einer Bestrahlung von  $1.000 \text{ W pro m}^2$  und einer Temperatur von  $25^\circ\text{C}$  wird die abgegebene Leistung ermittelt und als Maximum-Power-Point (MPP) definiert.<sup>87</sup>

Abb. 23: Temperaturabhängiges Kennlinienfeld eines Solarmoduls<sup>88</sup>

<sup>86</sup> Vgl. Quaschnig (2010), S.105.

<sup>87</sup> Vgl. ebenda, S.106 f.

<sup>88</sup> Vgl. URL: [http://www.sfv.de/lokal/emails/wvf/wenn\\_es\\_.htm](http://www.sfv.de/lokal/emails/wvf/wenn_es_.htm) (Zugriff: 25.04.2013).

Die Grafik zeigt, dass mit zunehmenden Temperaturen die Leistungsfähigkeit von Photovoltaikzellen sinkt. Gerade im Hochsommer können auf den Dächern oftmals Temperaturen von 50°C und mehr erreicht werden, womit die Leistungsfähigkeit der Module reduziert wird.

### Einsatzvarianten von Photovoltaikanlagen

Die wesentlichen Elemente einer Anlage sind die Photovoltaikmodule. Diese weisen einen, unabhängig von der Einsatzart, einheitlichen Aufbau auf. Je nach Bedarf werden einzelne oder mehrere Photovoltaikmodule zusammengefasst und an ihren Einsatzorten angebracht. Einsatzorte können Dächer von Gebäuden, freie Bodenflächen bis hin zu bewegten Objekten (z.B.: Fahrzeuge) sein. Für eine Unterscheidung von Anlagen sorgt die Entscheidung, wie mit der erzeugten elektrischen Energie umgegangen wird. Es ergeben sich hier zwei grundsätzliche Arten zum Aufbau von Photovoltaikanlagen.<sup>89</sup>

#### Netzgekoppelte Anlagen:

Die in Einfamilienhäusern gebräuchlichste Variante stellt die an das öffentliche Stromnetz gekoppelte Photovoltaikanlage dar.

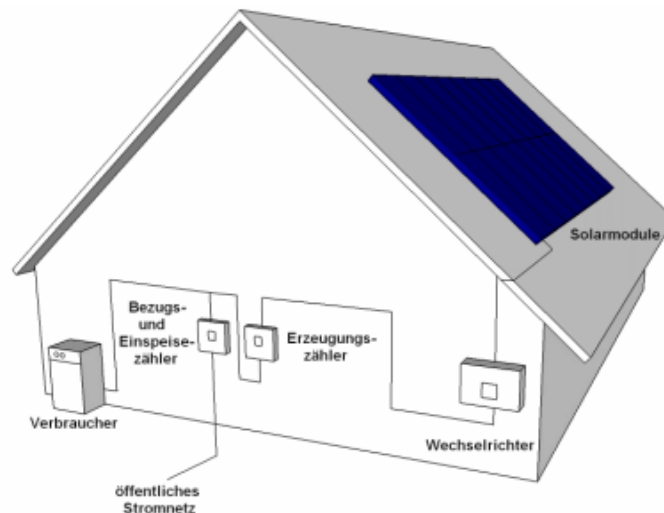


Abb. 24: Schema einer netzgekoppelten Anlage<sup>90</sup>

Die am Dach einfallende Solarstrahlung wird in elektrische Energie umgewandelt. Die generierte Energie liegt üblicherweise in Form von 12 V Gleichspannung an. Um die Energie nutzbar zu machen, wird ein Wechselrichter benötigt, der eine Transformation vornimmt und die gelieferte Energie an die netzkonforme Systemspannung umwandelt. Der erzeugte Strom kann nun, abgestimmt auf das Bedürfnis der Eigentümer, eingespeist

<sup>89</sup> Vgl. Kaltschmitt, Streicher (2009), S.166.

<sup>90</sup> Vgl. URL: <http://www.solektro.de/cms/solarstrom/netzgekoppelte-anlage> (Zugriff: 27.04.2013).

werden. Es besteht die Möglichkeit der Kompletteinspeisung oder der Überschusseinspeisung. Bei der Überschusseinspeisung wird nur die momentan nicht benötigte Energie eingespeist.<sup>91</sup> Kompletteinspeisungen sind sinnvoll, wenn mit dem Energielieferanten ein Vertrag vereinbart wurde, der dem Erzeuger ertragreiche Abnahmekonditionen zusichert.

#### Inselanlagen:

Als Inselanlagen werden autark operierende Anlagen bezeichnet, die keinen Anschluss an das allgemein zugängliche Stromnetz besitzen.



Abb. 25: Schema einer Inselanlage<sup>92</sup>

Aufgrund des fehlenden Netzzuganges werden nicht verbrauchte Energiemengen in speziellen, auf die häufige Be- und Entladung ausgelegten Solarbatterien für die spätere Verwendung zwischengespeichert.

#### **Zusammenschaltung von Modulen**

Bei der Anbringung von Photovoltaikmodulen und anschließender Zusammenschaltung muss mit Sorgfalt vorgegangen werden, da eine ungünstige Anordnung der Module den Ertrag massiv einschränken kann.

Das Zusammenschalten der Module erfolgt nach den allgemein gültigen, elektrotechnischen Grundregeln. Reihenschaltungen erhöhen die Spannung, und Parallelschaltungen erhöhen den Strom.

---

<sup>91</sup> Vgl. Kaltschmitt, Streicher (2009), S.166 ff.

<sup>92</sup> Vgl. URL: <http://www.solar-verein.de/html/insel-pv.html> (Zugriff: 27.04.2013).

Reihenschaltung:

Reihenschaltungen bieten den Vorteil, dass durch die erhöhte Spannung die Stromstärke gering gehalten wird und sich damit die Leistungsverluste in Grenzen halten. Ein großer Nachteil von Reihenschaltungen ist jedoch, dass sich die Leistung jedes Moduls in einer Reihenschaltung auf das schwächste Modul reduziert. Sollte ein Modul unerwartet bzw. durch falsche Planung teilweise oder vollständig abgeschattet werden, so sind alle Module, die in Reihe mit diesem Modul zusammengeschaltet sind, von dieser Leistungsminde- rung betroffen, auch wenn die restlichen Module der prallen Sonne ausgesetzt sind.<sup>93</sup>

Parallelschaltung:

Der große Nachteil der Reihenschaltung ist gleichzeitig der große Vorteil der Parallel- schaltung. Jedes Modul kann seine tatsächlich erbrachte Leistung abliefern. Sollte ein Modul ausfallen, so hat dies keinen Einfluss auf die restlichen Module, die parallel ange- bunden sind. Nachteilig wirkt sich aus, dass mit jedem zusätzlich parallel angeschlosse- nen Modul die Stromstärke erhöht wird, womit hohe Verluste hingenommen werden müs- sen.<sup>94</sup>

Durch die Auswahl des Wechselrichters ergibt sich zusätzlich eine Beschränkung hin- sichtlich der maximalen Stromstärke. Er definiert dadurch häufig die Obergrenze für die maximal zulässigen parallelen Verschaltungen.

**4.2.2.2 Bezug auf den konkreten Fall**

Um einen Bezug auf den vorliegenden Fall herstellen zu können, muss zunächst einmal definiert werden, was mit der Errichtung einer Photovoltaikanlage erreicht werden soll. Ziel ist es, elektrischen Strom durch Eigenproduktion günstiger zu beziehen, als es durch das öffentliche Netz möglich ist.

Die Erwirtschaftung von Gewinnen durch die Einspeisung in das öffentliche Netz wird nicht angestrebt. In Deutschland ist durch das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) eine Kompletteinspeisung attraktiver als in Österreich, aber auch hier wird die Einspeisevergü- tung laufend reduziert, und es muss in Zukunft damit gerechnet werden, dass diese kom- plett eingestellt wird.

---

<sup>93</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.202 ff.

<sup>94</sup> Vgl. ebenda, S.208.

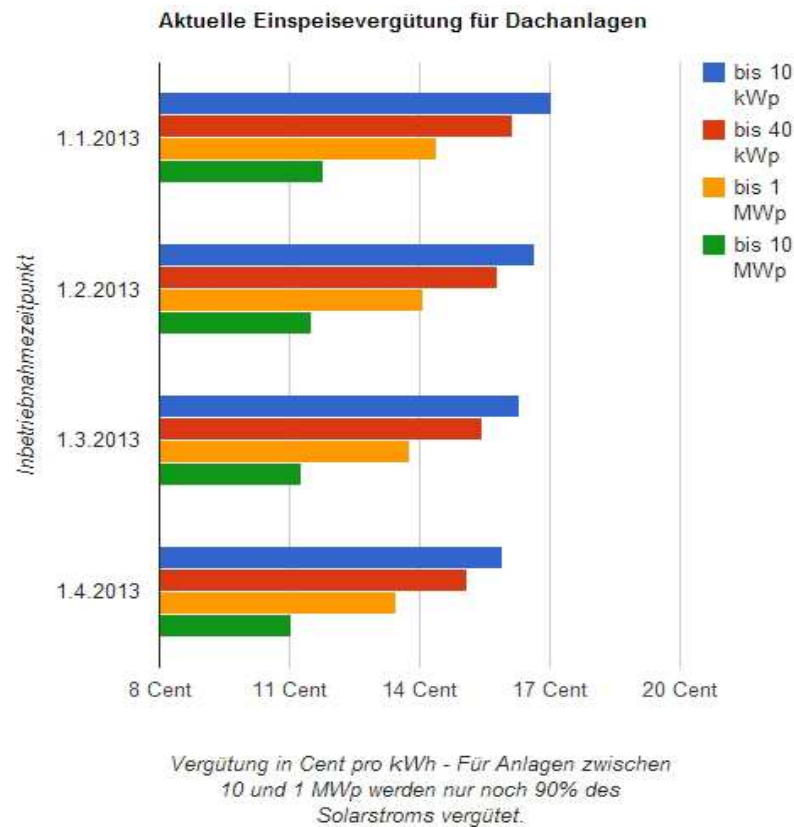


Abb. 26: Einspeisevergütung in Deutschland, abhängig vom Inbetriebnahmezeitpunkt<sup>95</sup>

In Österreich stellt sich die Situation so dar, dass vom Staat jährlich ein Förderbudget zur Verfügung gestellt wird. Wer die geförderten Tarife bei Errichtung einer Photovoltaikanlage in Anspruch nehmen will, kann am ersten Tag eines Kalenderjahres ab 00:00 Uhr einen Antrag auf Bewilligung der Förderung stellen. Sobald das Budget ausgeschöpft ist, können keine Fördertarife mehr in Anspruch genommen werden, was zur Folge hat, dass jährlich etliche Ansuchen abgelehnt werden.<sup>96</sup> In den vergangenen 5 Jahren wurden 28.000 Anträge abgelehnt, und es existiert bereits eine Warteliste, die über einige Jahre hinausreicht.<sup>97</sup> Diese Gesetzeslage stellt einen gewissen Unsicherheitsfaktor bei der Planung einer Anlage dar, weshalb auf eine Komplett einspeisung verzichtet wird. Überschusseinspeisungen sind generell von der Förderung ausgenommen.

### Auswahl der Einsatzvariante

In unserer modernen Gesellschaft wird elektrische Energie rund um die Uhr benötigt. Durch Sonnenenergie kann aber nur tagsüber der Strombedarf direkt gedeckt werden. Zu

<sup>95</sup> Vgl. URL: <http://www.photovoltaiik.org/foerderung/einspeiseverguetung> (Zugriff: 28.04.2013).

<sup>96</sup> Vgl. URL: <http://www.pvaustria.at/content/page.asp?id=70> (Zugriff: 28.04.2013).

<sup>97</sup> Vgl. URL: <http://www.photovoltaiik.org/news/international/rekordjahr-fuer-photovoltaik-oesterreich-1213714> (Zugriff: 29.04.2013).

anderen Tageszeiten muss auf das öffentliche Netz oder auf gespeicherte Energievorräte zurückgegriffen werden.

Die Realisierung eines Inselsystems zur ganzjährigen Versorgung des gesamten Haushalts ohne eine Anbindung an das öffentliche Stromnetz ist wirtschaftlich nicht sinnvoll, da in den Wintermonaten nur wenig Sonneneinstrahlung vorherrscht und eine enorme Fläche von Solarmodulen installiert werden müsste, um mit dem geringen Sonnenangebot genügend Energie zu erzeugen.<sup>98</sup>

Die Wahl muss daher auf eine netzgekoppelte Anlage fallen. Energieüberschüsse werden hierbei an ergiebigen Tagen in das öffentliche Stromnetz eingespeist. Die Einspeisetarife für Überschusseinspeisungen liegen im Durchschnitt bei ca. 9 Cent/kWh und sind zusätzlich an gewisse Bedingungen geknüpft.<sup>99</sup> Das Problem, das sich bei netzgekoppelten Anlagen ergibt, ist, dass der überschüssige Strom am Tag zu einem niedrigen Tarif eingespeist wird. Im Gegenzug dazu wird die in den Nachtstunden benötigte Energie teuer vom Netzbetreiber eingekauft. Mit Überschusseinspeisungen lässt sich eine Photovoltaikanlage ohne zusätzliche Förderungen vom Staat daher kaum ökonomisch sinnvoll betreiben.<sup>100</sup>

Es wird somit angestrebt, die Energieüberschüsse am Tag nicht abzugeben, sondern für die spätere Verwendung abzuspeichern. Die Wahl der einzusetzenden Variante fällt daher auf eine Kombination aus beiden Systemen. Energieüberschüsse sollen zu einem gewissen Teil in Solarbatterien gespeichert werden, um in den Abend- und Nachtstunden als Energielieferant zu Verfügung zu stehen. Mit steigenden Strombezugskosten und sinkenden Preisen für Photovoltaikmodule wird der Eigenverbrauch von Solarstrom zunehmend interessanter.<sup>101</sup>

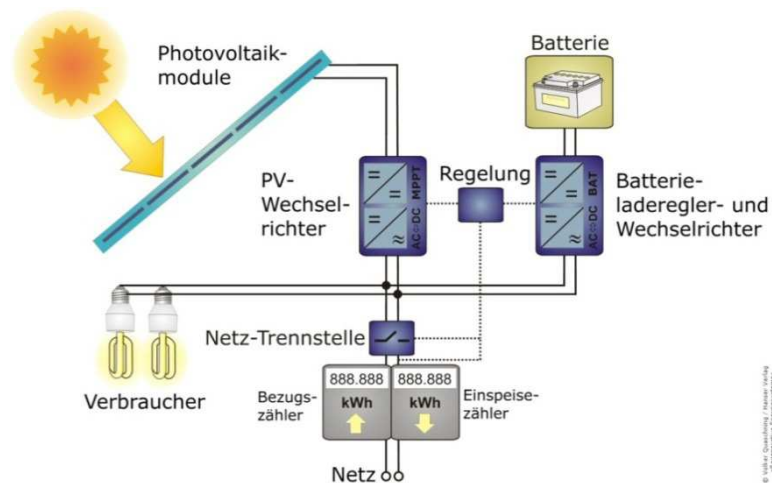
---

<sup>98</sup> Vgl. URL: <http://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/elektroheizung/ertrag-im-winter> (Zugriff: 30.04.2013)

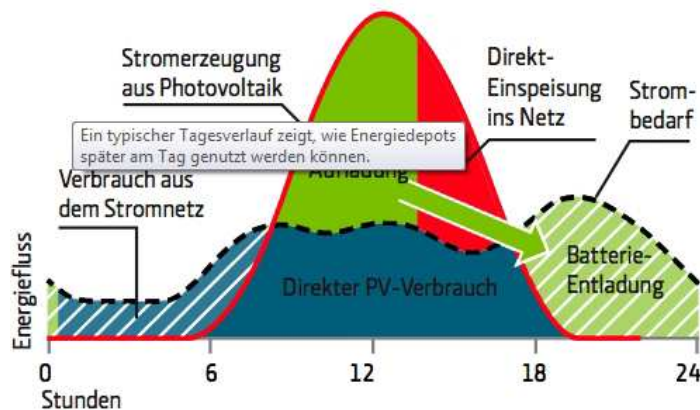
<sup>99</sup> Vgl. URL: <http://www.aee-salzburg.at/werkzeug/pv-rechner/> (Zugriff: 29.04.2013).

<sup>100</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.240.

<sup>101</sup> Vgl. Schwarzbürger (2013), S.63.

Abb. 27: Netzgekoppeltes Photovoltaiksystem mit Batteriespeicher<sup>102</sup>

Eine spezielle Regelung steht in Kontakt mit sämtlichen Anlagenkomponenten und lädt mit den Überschüssen der Tagesproduktion den Batteriespeicher. Sollten die Batterien zur Gänze aufgeladen sein, so wird die restliche Überproduktion anschließend ins öffentliche Netz eingespeist. Ein zusätzlicher Vorteil dieses Systems ist, dass im Falle eines Netzausfalls auch weiterhin Energie zur Verfügung stehen würde.<sup>103</sup> In westlichen Industrienationen kommen Stromausfälle jedoch nur selten vor, was dazu führt, dass dies kein Entscheidungskriterium für die Errichtung einer Anlage mit Batteriespeicher sein sollte.

Abb. 28: Tagesablauf eines durchschnittlichen Haushalts mit Energiedepot<sup>104</sup>

Die Grafik zeigt, wie sich ein typischer Ablauf in einem Einfamilienhaus mit netzgekoppelter Photovoltaikanlage und Batteriespeicher darstellt. Die größte Herausforderung bei der Planung der Anlage ist die Dimensionierung der Leistung der Photovoltaikzellen und der Speicherkapazität der Batterien. Durch das monatlich schwankende Sonnenangebot kann

<sup>102</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.241.

<sup>103</sup> Vgl. ebenda, S.241.

<sup>104</sup> Vgl. URL: <http://www.heise.de/tr/artikel/Sonne-einkellern-1285142.html?view=zoom;zoom=1> (Zugriff: 29.04.2013).

die Anlage nicht optimal ausgelastet werden, und es muss ein Mittelweg gefunden werden, der den wirtschaftlichen Betrieb der Anlage gewährleistet.

### **Dimensionierung der Anlage**

Bei einem Verbrauch von 5.500 kWh an elektrischer Energie pro Jahr ergibt sich ein durchschnittlicher täglicher Verbrauch von 15 kWh. Die zu errichtende Anlage muss also an ergiebigen Tagen ein Minimum von 15 kWh pro Tag produzieren, um den Eigenbedarf komplett abzudecken. Um eine möglichst realitätsnahe Berechnung durchführen zu können, wird das Informationssystem PVGIS (Photovoltaik Geographical Information System) verwendet, das von der Europäischen Kommission entwickelt und kostenlos bereitgestellt wird. Durch den Einsatz dieses online verfügbaren Programms lässt sich mit wenig Aufwand der tatsächlich zu erwartende Ertrag einer Anlage ermitteln.<sup>105</sup>

Das Programm erfordert Eingaben, betreffend der Aufstellungskoordinaten, Neigung, Ausrichtung und Montageart der Solarmodule. Als Gesamtverlust werden für das Photovoltaiksystem 30 % angenommen. Dies stellt einen üblichen Wert für eine Anlage mit Batteriespeicher dar.<sup>106</sup> Durch die Erfassung der Spitzenleistung der Anlage erfolgt nun das Herantasten an den geforderten Tagesertrag.

---

<sup>105</sup> Vgl. URL: <http://www.photovoltaik.org/wissen/pvgis> (Zugriff: 01.05.2013).

<sup>106</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.245.



Ort: 48° 11' Nord, 16° 11' Ost, Höhe: 305 m ü.d.M.,

Benutzte Sonnenstrahlungsdatenbank: PVGIS-classic

Nominelle Leistung des FV-Systems: 5.6 kW (Kristallin Silizium)

Geschätzte Verluste von Temperatur und niedriger Einstrahlung: 12.3% (mit Einfluss der lokalen Aussentemperatur)

Geschätzter Verlust durch Reflexionseffekte: 3.0%

Andere Verluste (Kabel, Inverter, usw.): 17.8%

Gesamtverluste des FV Systems: 30.0%

Festes System: Neigung=40°, Orientierung=20°				
Monat	$E_d$	$E_m$	$H_d$	$H_m$
Jan	5.96	185	1.36	42.1
Feb	9.37	262	2.20	61.6
Mär	13.40	416	3.28	102
Apr	17.20	516	4.40	132
Mai	19.20	595	5.03	156
Jun	19.20	577	5.11	153
Jul	20.20	627	5.42	168
Aug	18.30	568	4.87	151
Sep	15.10	454	3.91	117
Okt	11.80	366	2.91	90.2
Nov	6.04	181	1.43	42.8
Dez	4.23	131	0.97	30.1
Jahresdurchschnitt	13.4	406	3.41	104
Total für Jahr		4880		1250

$E_d$ : Durchschnittliche tägliche Energieproduktion des Systems (kWh)

$E_m$ : Durchschnittliche monatliche Elektrizitätsproduktion mit diesem System (kWh)

$H_d$ : Durchschnittliche Tagessumme globaler Einstrahlung pro Quadratmeter auf den Modulen des gewählten Systems (kWh/m<sup>2</sup>)

$H_m$ : Durchschnittliche globale Einstrahlungssumme pro Quadratmeter auf den Modulen des Systems (kWh/m<sup>2</sup>)

Abb. 29: Ergebnisse einer Berechnung auf der Homepage des PVGIS<sup>107</sup>

Durch eine Anlagen-Spitzenleistung von 5,6 kWp lässt sich voraussichtlich von Ende März bis Anfang Oktober der tägliche Bedarf von 15 kWh abdecken. Wenn weitere Monate abgedeckt werden sollen, muss die Anlage dementsprechend vergrößert werden, wodurch höhere Investitionskosten anfallen. Ein Blick auf die durchschnittliche Globalstrahlung lässt einen Wert von 1.250 kWh/m<sup>2</sup> für den Standort des Einfamilienhauses erkennen. Dieser Wert ist etwas optimistisch und wird auch in diversen Literaturquellen nicht bestätigt. Es wird eine Bereinigung auf den bereits aus der Solarthermie bekannten Einstrahlungswert von 1.045 kWh/m<sup>2</sup> durchgeführt, wodurch eine Spitzenleistung ( $P_{pv}$ ) von 6,72 kWp benötigt wird.

<sup>107</sup> Vgl. URL: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=de&map=europe> (Zugriff: 01.05.2013).

### Kollektorfläche

Aus der erforderlichen Spitzenleistung lässt sich nun die benötigte Dachfläche ermitteln. Für die Berechnung müssen bereits die technischen Spezifikationen der später verwendeten Solarzelle in die Kalkulation einbezogen werden. Es wird ein bewährtes Modul der Firma BOSCH (Modell: c-Si M60 245 3BB mono) ausgewählt, welches eine Nennleistung von 245 Wp aufweist und eine Fläche von 1,7 m<sup>2</sup> in Anspruch nimmt.<sup>108</sup>

$$\text{Notwendige Modulanzahl } n_{\text{mod}} = \frac{P_{\text{pv}}}{P_{\text{mod}}} = \frac{6,72 \text{ kWp}}{0,245 \text{ kWp}} = 27,43 \approx 28$$

$$\text{Benötigte Kollektorfläche } A_{\text{koll}} = n_{\text{mod}} \cdot A_{\text{mod}} = 28 \cdot 1,7 \text{ m}^2 = 47,6 \text{ m}^2$$

### Batteriespeicher

Der Umfang des Batteriespeichers soll den Haushalt in der ertragreichen Jahreszeit von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang mit elektrischer Energie versorgen. Zur Überbrückung von mehreren Schlechtwettertagen ist der Speicher nicht vorgesehen.

Die benötigte tägliche Energie eines Haushaltes ist dem Tagesrhythmus des Menschen unterworfen. Während der Schlafes oder der Berufsausübung wird weniger Strom benötigt als in den Abendstunden.

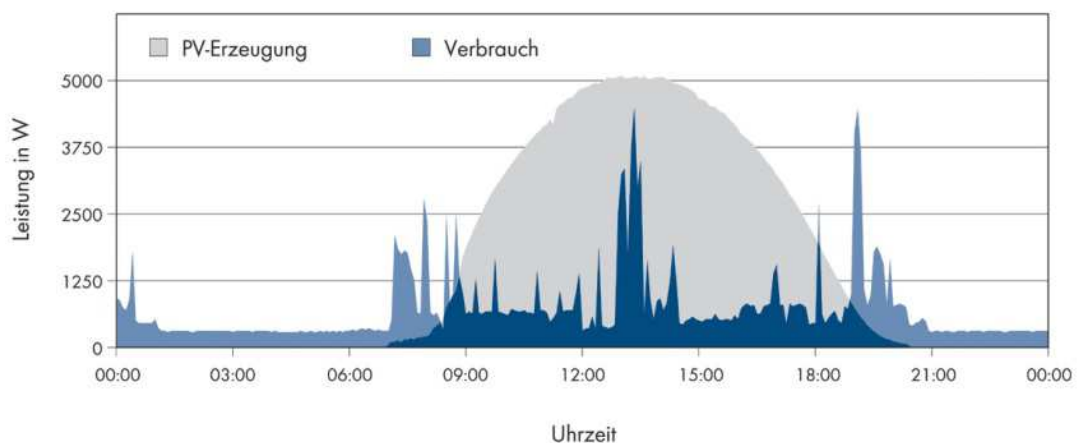


Abb. 30: Tagesverlauf eines durchschnittlichen Haushalts mit Solarstromerzeugung<sup>109</sup>

Während tagsüber die Photovoltaikanlage, die elektrische Energie bereitstellen kann, muss in der restlichen Zeit das Batteriesystem die Versorgung übernehmen.<sup>110</sup> Üblicher-

<sup>108</sup> Vgl. URL: <http://www.photovoltaik-shop.com/solarmodul-bosch-c-si-m60-245-3bb-mono.html> (Zugriff: 01.05.2013).

<sup>109</sup> Vgl. URL: <http://www.sma.de/loesungen/medium-power-solutions/expertenwissen/die-eigenstrom-zulage.html> (Zugriff: 02.05.2013).

<sup>110</sup> Vgl. Scherwenke (2008), S.24.

weise kann der Eigenbedarf ohne Batterien zu ca. 30 % gedeckt werden. Dieser Wert lässt sich durch die Optimierung des eigenen Nutzungsverhaltens noch geringfügig verbessern, indem große Stromverbraucher (Waschmaschinen, Trockner, etc.) tagsüber zeitgesteuert verwendet werden.<sup>111</sup> Es wird also angenommen, dass der Eigenbedarf zu maximal 40 % gedeckt werden kann. Der verbleibende Energiebedarf muss schlussendlich durch den Einsatz von Akkumulatoren abgegolten werden. In diesem konkreten Fall ist davon auszugehen, dass von der täglich benötigten Energiemenge 9 kWh durch den Batteriespeicher abgedeckt werden sollen.

Weitere Beachtung muss der Auswahl der Akkumulatoren geschenkt werden, da unterschiedliche Typen zur Verfügung stehen, die sich in Leistung und Preis unterscheiden.

	Blei	NiCd	NiMH	NaS	Lithium-Ionen
Positive Elektrode	PbO <sub>2</sub>	NiOOH	NiOOH	Na (flüssig)	Graphit (nC)
Negative Elektrode	PbO	Cd	Metalle	S (flüssig)	LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>
Elektrolyt	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + H <sub>2</sub> O	KOH + H <sub>2</sub> O	KOH + H <sub>2</sub> O	β-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Polymer/Salz
Energiedichte in Wh/l	50 ... 110	80 ... 200	100 ... 350	260 ... 390	250 ... 500
Energiedichte in Wh/kg	25 ... 50	30 ... 70	60 ... 120	120 ... 220	95 ... 200
Zellspannung in V	2	1,2	1,2	2,1	3,6
Lade-/Entladezyklen	500 ... 1500	1500 ... 3000	ca. 1000	1500 ... 3000	500 ... 10000
Betriebstemp. in °C	0 ... 55	-40 ... 55	-20 ... 45	270 ... 350	-20 ... 55
Selbstentladungsrate in %/Monat	5 ... 15	20 ... 30	15 ... 50	0 <sup>1)</sup>	<5
Wh-Wirkungsgrad in %	70 ... 85	60 ... 70	60 ... 85	70 ... 85	70 ... 90

1) ohne Energiebedarf zum Aufrechterhalten der hohen Betriebstemperatur

Tabelle 5: Vergleich unterschiedlicher Akkumulatortypen<sup>112</sup>

Das wichtigste Kriterium im Bereich der Photovoltaik ist die Anzahl der zu erwartenden Ladezyklen. Sie gibt im Endeffekt die Lebensdauer der Batterie wieder, bevor sie durch eine neue ersetzt werden muss. Blei-Akkumulatoren stellen seit vielen Jahren den Standard bei Insellösungen dar. Den große Nachteil stellt jedoch die relativ niedrige Zyklenanzahl dar. Erschwerend kommt hinzu, dass die Batteriekapazität nur zu maximal 50 % genutzt werden kann, um die Lebensdauer nicht noch weiter zu verkürzen. Die beste Alternative stellen Lithium-Batteriesysteme dar, deren einziger Nachteil die hohen Anschaffungskosten sind. Durch die voranschreitende Entwicklung in der Fahrzeugindustrie wird intensiver an der Batterietechnik geforscht. Mittlerweile sind auch für Photovoltaikanlagen erste Lithium-Speichersysteme verfügbar, weshalb entschieden wird, die Anlage mit die-

<sup>111</sup> Vgl. URL: <http://www.sma.de/loesungen/medium-power-solutions/expertenwissen/die-eigenstromzulage.html> (Zugriff: 02.05.2013).

<sup>112</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.219.

ser Technologie zu betreiben. Die Preise für die Speicherung einer kWh bewegen sich zurzeit zwischen 1.000 und 3.000 Euro.<sup>113</sup>

### Anlagenbestandteile

Nach der Definition der Rahmenparameter kann die Auswahl der Anlagenkomponenten erfolgen.

Photovoltaikanlage	
Kostenbestandteil	Betrag
Solarzellen	€ 6.434,-
Batteriespeicher inkl. Wechselrichter	€ 15.900,-
Diverse Anlagenbestandteile	€ 2.000,-
Installationskosten und Abnahme	€ 2.500,-

Tabelle 5: Kostenaufstellung der Photovoltaikanlage (eigene Darstellung)

Als Solarzellen kommen die bereits in der Berechnung verwendeten Module der Firma BOSCH (Modell: c-Si M60 245 3BB mono) zum Einsatz. Als Batteriespeicher wird ein System der Firma ASD (Modell: Sonnenspeicher Serie 300) Anwendung finden.<sup>114</sup> Es weist eine Speicherkapazität von 13,44 kWh auf und wird in den Monaten November, Dezember, Jänner und Februar heruntergefahren, um die Lebensdauer noch weiter zu erhöhen und eine Laufzeit von 25 Jahren zu erreichen. Aufgrund der schwachen Sonneneinstrahlung könnte das Batteriesystem ohnehin nicht genügend aufgeladen werden, und die Lebensdauer würde nur unnötig reduziert werden. Die geringen Selbstentladungsrate von Lithiumsystemen kommt diesem Vorhaben ebenfalls entgegen. Die verbleibenden Kostenpositionen wurden aus Internet- und Literaturquellen bezogen.

### 4.2.2.3 Berechnung

#### Investitionskosten

Durch Aufsummierung der Anlagenbestandteile lassen sich die gesamten Investitionskosten der Photovoltaikanlage errechnen.

Investitionskosten  $I_0 = 26.834 \text{ €}$

<sup>113</sup> Vgl. URL: <http://www.photovoltaik-web.de/batteriesysteme-akkusysteme-pv/hersteller-speicherloesungen/ac-lithium.html> (Zugriff: 03.05.2013)

<sup>114</sup> Vgl. ebenda.

### Kapitalgebundene Kosten

Lithium Speichersysteme sind wartungsfrei. Für das Speichersystem entstehen somit keine investitionsabhängigen Instandhaltungskosten. In diesem Fall werden nur die Solarzellen und die restlichen Anlagenbestandteile für die Berechnung in Betracht gezogen.

$$\text{Kapitalgebundene Kosten } K_K = f_K \cdot I_0$$

Der prozentuale Anteil der Instandsetzungskosten( $f_K$ ) wird mit 0,005 festgelegt.<sup>115</sup>

$$K_K = 0,005 \cdot (6.434 \text{ €} + 2.000 \text{ €}) = 42,17 \approx \mathbf{42 \text{ €}}$$

### Verbrauchsgebundene Kosten

Der Betrieb einer Photovoltaikanlage verbraucht keine Energie. Zur Berechnung der Wirtschaftlichkeit muss jedoch der Stromverbrauch des Haushalts im Umfang von 5.500 kWh einfließen. Anhand der erbrachten Leistung der Anlage aus Abbildung 29 wurde eine Berechnung über die zu erwartende Stromproduktion erstellt.

	kWh pro Monat					
	PV-Erzeugung	Verbrauch tagsüber	Verbrauch nachts	Überschuss tagsüber	Netzbedarf	Batteriespeicher
JAN	185	186	279	-1	280	deaktiviert
FEB	262	174	261	88	173	deaktiviert
MAR	416	186	279	230	49	aktiviert
APR	516	180	270	336	-66	aktiviert
MAI	595	186	279	409	-130	aktiviert
JUN	577	180	270	397	-127	aktiviert
JUL	627	186	279	441	-162	aktiviert
AUG	568	186	279	382	-103	aktiviert
SEP	454	180	270	274	-4	aktiviert
OKT	366	186	279	180	99	aktiviert
NOV	181	180	270	1	269	deaktiviert
DEZ	131	186	279	-55	334	deaktiviert

Tabelle 6: Aufstellung der Stromproduktion und des Strombedarfs (eigene Darstellung)

Aus der Tabelle lassen sich die monatlichen Daten bezüglich Verbrauch, Überschüssen und dem Bedarf aus dem öffentlichen Stromnetz ablesen. Die über der Aufnahmekapazität des Lithiumspeichers liegenden Überschüsse ergeben eine Einspeisemenge ( $E_a$ ) von 681 kWh / a. In sonnenstrahlungsarmen Monaten besteht ein Strombedarf ( $B_a$ ), der aus dem öffentlichen Netz in einem Umfang von 1.204 kWh / a bezogen werden kann. Der Preis pro eingespeister kWh wird mit 9 Cent festgelegt, wie unter Punkt 4.2.2.2 beschrieben. Für Strom aus dem öffentlichen Netz wird der bereits mehrfach verwendete Tarif von 0,1890 €/kWh herangezogen.

<sup>115</sup> Vgl. VDI 2067 Blatt 1 (2010).

$$\text{Verbrauchsgebundene Kosten } K_V = K_a - G_a$$

$$\text{Jahresenergiekosten } K_a = B_a \cdot k_{SA} = 1.204 \text{ kWh/a} \cdot 0,1890 \text{ €/kWh} = 227,56 \approx 228 \text{ €}$$

$$\text{Jahresenergiegewinn } G_a = E_a \cdot k_{SA} = 681 \text{ kWh/a} \cdot 0,09 \text{ €/kWh} = 61,29 \approx 61 \text{ €}$$

$$K_V = K_a - G_a = 228 \text{ €} - 61 \text{ €} = \mathbf{167 \text{ €}}$$

### Betriebsgebundene Kosten

Um kontinuierlich das volle Potenzial der Anlage auszuschöpfen, bedarf es einer regelmäßigen Wartung des Systems. Es muss jährlich zusätzlich eine Reinigung der Solarzellen durchgeführt werden, um Verunreinigungen der Solarzellenoberfläche zu beseitigen. Insgesamt entstehen hierbei durchschnittliche Kosten in Höhe von 130 € pro Jahr.<sup>116</sup>

$$\text{Betriebsgebundene Kosten } K_B = \mathbf{130 \text{ €}}$$

### Kapitalwert

$$BWF = \frac{1 - \left(\frac{r_x}{q}\right)^t}{q - r_x} = \frac{1 - \left(\frac{1,035}{1}\right)^{25}}{1 - 1,035} = 38,95$$

$$\text{Gesamtbarwert } BW_{\text{ges}} = (K_K + K_V + K_B) \cdot BWF = 339 \text{ €} \cdot 38,95 = 13.204,05 \text{ €} \approx 13.204 \text{ €}$$

$$\text{Kapitalwert } KW = -I_0 - BW_{\text{ges}} = -26.834 \text{ €} - 13.204 \text{ €} = \mathbf{-40.038 \text{ €}}$$

### Kostenvergleich

$$\begin{aligned} \text{Fixkosten } K_{\text{fix}} &= \text{kalk. Abschreibungen} + K_K + K_B = \frac{I_0}{t} + K_K + K_B = \\ &= \frac{26.834 \text{ €}}{25 \text{ Jahre}} + 42 \text{ €} + 130 \text{ €} = 1.245,36 \text{ €} \approx 1.245 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\text{variable Kosten } K_{\text{var}} = K_V = 167 \text{ €}$$

$$\text{jährliche Gesamtkosten } K_{\text{ges}} = K_{\text{fix}} + K_{\text{var}} = 1.245 \text{ €} + 167 \text{ €} = \mathbf{1.412 \text{ €}}$$

---

<sup>116</sup> Vgl. URL: <http://www.rechnerphotovoltaik.de/pv/photovoltaik-wirtschaftlichkeit/laufende-kosten/> (Zugriff: 21.05.2013).



## 4.3 Biomasse

In der Literatur wird Biomasse oft unterschiedlich definiert. Grob formuliert lassen sich im regenerativen Energiebereich zusammenfassend alle biologischen, natürlich vorkommenden und nachwachsende Stoffe als Biomasse bezeichnen, die als Energiequellen dienen, um Energie, Kraftstoff oder Gase bereitzustellen.<sup>117</sup> Im Bereich der Energieversorgung von Einfamilienhäusern wird Biomasse hauptsächlich in Heizsystemen verwendet. Im Rahmen dieser Arbeit wird auf die Herstellung von Kraftstoff, elektrischer Energie oder Gas nicht weiter eingegangen, da dies über den privaten Bereich hinausgeht. Die am häufigsten eingesetzten Betriebsstoffe für Biomasseheizungen sind Stückholz, Pellets und Hackschnitzel, welche im Endeffekt alle aus dem Rohstoff Holz bestehen. Das Heizen mit Biomasse ist klimaneutral, das heißt, es wird bei der Verbrennung dieselbe Menge an CO<sub>2</sub> freigesetzt, welche während des Pflanzenwachstums durch Photosynthese aufgenommen wurde.<sup>118</sup> In Deutschland werden rund 90 % der regenerativ erzeugten Wärme mit Biomasse generiert.<sup>119</sup>

### 4.3.1 Funktionsprinzip

Die Funktionsweise einer Heizung mit Biomasse ist relativ einfach gehalten und bereits seit Jahrhunderten bekannt. Durch die Verbrennung von Holzprodukten entsteht Wärme, die dem Aufheizen von Gebäuden und Warmwasser dient. Die zum Heizen verwendeten Betriebsstoffe werden nahe der Befeuungsstelle gelagert und bei Bedarf dieser zugeführt.<sup>120</sup>

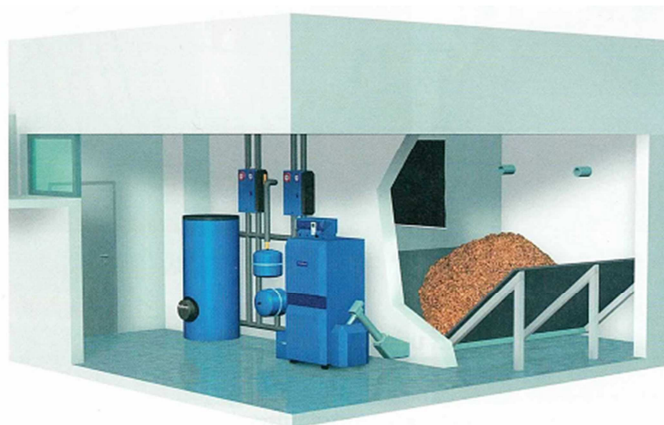


Abb. 31: Pelletsheizung mit angrenzendem Lagerraum<sup>121</sup>

<sup>117</sup> Vgl. Watter (2011), S.141.

<sup>118</sup> Vgl. Kaltschmitt, Streicher (2009), S.449.

<sup>119</sup> Vgl. Hartmann (2013), S.7.

<sup>120</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.361.

<sup>121</sup> Vgl. ebenda (2010), S.273.

Die Grafik zeigt eine typische Biomasseheizung mit einem, in das Gebäude integrierten Lagerraum. Die drei unterschiedlichen Betriebsstoffe (Stückholz, Pellets und Hackschnitzel) erfordern aufgrund deren Besonderheiten nur geringe Anpassungen an das Gesamtsystem der Biomasseheizung.

## **Betriebsstoffe**

### Stückholz:

Die Herstellung von Stückholz verursacht nur wenig Aufwand, da die Bäume lediglich gefällt und auf eine Länge von durchschnittlich 33 cm zugeschnitten werden müssen. Anschließend werden die Holzstücke trocken gelagert, um einen besseren Brennwert zu erzielen. Bei Freilufttrocknung ohne zusätzlichen Energieaufwand kann dies bis zu einem Jahr in Anspruch nehmen.<sup>122</sup>

Die Befeuerung mit Stückholz ist die preisgünstigste Variante, hat jedoch den Nachteil, dass eine Bestückung des Kessels manuell erfolgen muss. Die Berechnung von Brennstoffmengen erfolgt in Raummetern (Rm), wobei ein Raummeter einem m<sup>3</sup> Stückholz entspricht, für den aktuell 79 € zu bezahlen ist.<sup>123</sup> Die Dichte ist je nach Holzart unterschiedlich. Durchschnittlich kann von einer Dichte ( $\rho$ ) von 420 kg / m<sup>3</sup> und einem Heizwert ( $H_i$ ) von 4,2 kWh/kg ausgegangen werden.<sup>124</sup>

### Pellets:

Aus den bei der Holzverarbeitung anfallenden Resten werden kleine, unter hohem Druck zusammengepresste Holzpellets hergestellt. Die Presslinge weisen durch die starke Kompression einen hohen Heizwert auf und benötigen dadurch weniger Lagerraum als andere Brennstoffe. Die Herstellung der Pellets unterliegt der ÖNORM M 7135, um eine gleichbleibende Qualität zu gewährleisten, welche es ermöglicht, den Brennkessel über eine automatische Förderanlage zu versorgen.<sup>125</sup>

Der erhöhte Aufwand bei der Herstellung und der größere Bedienkomfort haben leider einen negativen Einfluss auf die Endverbraucherpreise der Pellets. Größere temporäre Nachfragen können den Preis kurzfristig schnell steigen lassen. Der Rohstoff Holz ist zwar nachwachsend, es entsteht aber trotzdem eine gewisse Abhängigkeit von der Industrie ähnlich wie bei den fossilen Brennstoffen, da zur Herstellung von Pellets industrielle Anlagen benötigt werden.<sup>126</sup> Der Bezug von Pellets erfolgt nach Gewicht, und es ist

---

<sup>122</sup> Vgl. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Holztrocknung> (Zugriff: 06.05.2013).

<sup>123</sup> Vgl. URL: <http://brennholzpreise.de/kaminholz-preise-im-chart-und-tabelle> (Zugriff: 07.05.2013).

<sup>124</sup> Vgl. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Brennholz> (Zugriff: 08.05.2013).

<sup>125</sup> Vgl. Watter (2011), S.172.

<sup>126</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.361.



momentan mit 237 € pro Tonne zu rechnen.<sup>127</sup> Durch die Kompression weisen Pellets eine hohe Dichte von 650 kg/m<sup>3</sup> und einen Heizwert von 5 kWh/kg auf.<sup>128</sup>

#### Hackschnitzel:

Der Herstellungsprozess für Hackschnitzel ist im Gegensatz zu der Pelletsherstellung einfacher gehalten. Minderwertiges Holz und Abfälle aus der Holzverarbeitung werden durch einen Schredder zu kleinen Holzstücken verarbeitet und nach einer Trocknungsphase dem Heizkessel zugeführt. Aufgrund der einheitlichen Beschaffenheit des Hackgutes ist eine automatische Versorgung des Heizsystems möglich. Durch die unterschiedlichen, bei der Produktion eingesetzten Holzsorten unterliegt der Heizwert der Hackschnitzel gewissen Schwankungen. Im Gegensatz zu Pellets kann die Produktion von Hackschnitzeln bei entsprechenden Abnahmemengen, auch regional durch Privatpersonen oder Forstwirte erfolgen. Hackgut wird in Schüttraummetern (Srm) beziffert, wobei ein Schüttraummeter einem Kubikmeter Hackgut entspricht. Bei der Lagerung ist mit einer Dichte von 200 kg/m<sup>3</sup> und einem Heizwert von 4 kWh/kg zu rechnen.<sup>129</sup> Aktuell liegt der durchschnittliche Schüttraummeterpreis bei 27 €.<sup>130</sup>

#### **Lagerung**

Die drei Betriebsstoffe haben gemeinsam, dass die Lagerung der Holzprodukte trocken erfolgen muss. Die Verbrennung von feuchtem Holz führt zu einer unvollständigen Verbrennung, wodurch Energie vergeudet wird und vermehrt Schadstoffe entstehen.

Der Lagerraum ist im Optimalfall direkt an den Heizraum angeschlossen, um den Transportweg kurz zu halten. Wenn die Umstände vor Ort jedoch ungünstig sind, kann die Bevorratung der Brennstoffe auch in eigenständigen Gebäuden erfolgen. Bei der Stückholzlagerung wird der verfügbare Lagerraum komplett ausgefüllt. Bei Pellets- und Hackschnitzellagerräumen werden Räumsträgen installiert, die eine automatische Entnahme mittels einer Förderschnecke ermöglichen. Der nutzbare Rauminhalt wird somit um ein Drittel reduziert.<sup>131</sup>

---

<sup>127</sup> Vgl. URL: <http://kaernten.arbeiterkammer.at/online/pelletspreise-im-april-41939.html> (Zugriff: 07.05.2013).

<sup>128</sup> Vgl. Watter (2011), S.173.

<sup>129</sup> Vgl. ebenda, S.174.

<sup>130</sup> Vgl. URL: <http://www.kaminholz-wissen.de/holz-hackschnitzel-preise.php> (Zugriff: 08.05.2013).

<sup>131</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.361.

### 4.3.2 Bezug auf den konkreten Fall

#### Auswahl des Brennstoffes

Aus den drei zur Auswahl stehenden Brennstoffen kann die Variante der Befeuerung mit Stückholz ausgeschlossen werden, da eine manuelle Versorgung des Kessels während der berufsbedingten Abwesenheit der Bewohner nicht garantiert werden kann.

Die Unterschiede zwischen Pellets und Hackschnitzeln sind minimal. Beide werden automatisch gefördert und dem Heizsystem zugeführt. Auch der Aufbau der Heizanlage ist ident. Der einzige Gegensatz besteht in der Dichte der Brennstoffe. Da zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Entscheidung für eine der beiden Brennstoffvarianten getätigt werden kann, werden beide in die Berechnung aufgenommen.

#### Jährliche Brennstoffmenge und Lagerraumvolumen

Aufgrund der Dichte der Brennstoffe besteht der Bedarf an unterschiedlich dimensionierten Lagerräumen. Zur Berechnung des Volumens wird der bereits bekannte Heizwärmebedarf, der Heizwert und die Dichte des Brennstoffes sowie der Wirkungsgrad ( $\eta_k$ ) des Brennstoffkessels benötigt.<sup>132</sup> Der Wirkungsgrad von Pellets liegt bei durchschnittlich 90 %, während der von Hackschnitzelsystemen bei ca. 85 % liegt.<sup>133</sup> Durch die Förderanlagen können nur zwei Drittel des Raumes mit Brennstoff befüllt werden.

$$\text{Brennstoffvolumen Pellets } V_{bp} = \frac{Q_H + Q_{W_{ges}}}{\eta_k \cdot H_i \cdot \rho_p} = \frac{14.200 \text{ kWh/a} + 7.543 \text{ kWh/a}}{0,9 \cdot 5 \text{ kWh/kg} \cdot 650 \text{ kg/m}^3} = 7,433 \text{ m}^3 \\ \approx 7,5 \text{ m}^3$$

$$\text{jährliche Brennstoffmenge Pellets } M_p = 7,5 \text{ m}^3 \cdot 650 \text{ kg} = 4,875 \text{ t}$$

$$\text{Lagerraumvolumen Pellets } V_{lp} = V_{bp} + 50 \% = 7,5 \text{ m}^3 \cdot 1,5 = 11,25 \text{ m}^3$$

$$\text{Brennstoffvolumen Hackgut } V_{bh} = \frac{Q_H + Q_{W_{ges}}}{\eta_k \cdot H_i \cdot \rho_h} = \frac{14.200 \text{ kWh/a} + 7.543 \text{ kWh/a}}{0,85 \cdot 4 \text{ kWh/kg} \cdot 200 \text{ kg/m}^3} = 31,975 \text{ m}^3$$

$$\text{Jährliche Brennstoffmenge Hackgut } M_h = 31,975 \text{ m}^3 \approx 32 \text{ m}^3$$

$$\text{Lagerraumvolumen Hackgut } V_{lh} = V_{bh} + 50 \% = 32 \text{ m}^3 \cdot 1,5 = 48 \text{ m}^3$$

<sup>132</sup> Vgl. Quaschnig (2013), S.361.

<sup>133</sup> Vgl. URL: <http://www.heizungsfinder.de/pelletheizung/betrieb/heizen> (Zugriff: 09.05.2013).

**Anlagenbestandteile:**

Nach der Berechnung der benötigten Brennstoffmengen und Lagerraumgrößen kann mit der Auswahl der Anlagenkomponenten begonnen werden. Hackschnitzelheizungen benötigen aufgrund der Dichte des Brennstoffs einen größeren Lagerraum, wodurch ein erhöhter Lagerraumbedarf entsteht. Dies führt auch zu höheren Kosten bei der Dimensionierung der Förderanlage.

<b>Pelletsheizung</b>	
<b>Kostenbestandteil</b>	<b>Betrag</b>
Pelletsessel	€ 6.700,-
Kombispeicher	€ 2.592,-
Schornstein	€ 2.500,-
Diverse Anlagenbestandteile	€ 2.000,-
Installationskosten und Abnahme	€ 2.500,-
Lagerraum und Fördersystem	€ 3.500,-

Tabelle 7: Kostenaufstellung der Pelletsanlage (eigene Darstellung)

<b>Hackschnitzelheizung</b>	
<b>Kostenbestandteil</b>	<b>Betrag</b>
Hackschnitzelkessel	€ 16.315,-
Kombispeicher	€ 2.592,-
Schornstein	€ 2.500,-
Diverse Anlagenbestandteile	€ 2.000,-
Installationskosten und Abnahme	€ 2.500,-
Lagerraum und Fördersystem	€ 5.500,-

Tabelle 8: Kostenaufstellung der Hackschnitzelanlage (eigene Darstellung)

Als Pelletsessel wurde ein Gerät der Marke KÜNZEL (Modell: PK 15) ausgewählt.<sup>134</sup> Bei der Hackschnitzelheizung fiel die Wahl auf einen Kessel der Marke KWB (Modell: Multifire USV D 15).<sup>135</sup> Um einen optimalen Wirkungsgrad zu erzielen und ein häufiges Ein- und Ausschalten zu vermeiden, wird bei Biomasseheizungen in der Regel ein Kombispeicher eingesetzt. Dies wird bei dieser Berechnung berücksichtigt, weshalb die Wahl auf den bereits bei der Solarthermieanlage eingesetzten Kombispeicher fällt. Die restlichen Kostenpositionen wurden mittels Recherche in Literatur- und Internetquellen ermittelt.

<sup>134</sup> Vgl. URL: <http://www.gemashop.de/heizungsprodukte/pelletkessel/kuenzel-pelletkessel-pk-bis-20-kw.php> (Zugriff: 22.05.2013).

<sup>135</sup> Vgl. URL: [http://www.jenni.ch/pdf/KWB\\_Preisliste.pdf](http://www.jenni.ch/pdf/KWB_Preisliste.pdf) (Zugriff: 23.05.2013).

### 4.3.3 Berechnung

#### Investitionskosten

Für die zwei Biomasseheizungen ergeben sich folgende Investitionssummen.

##### Pellets:

Investitionskosten  $I_0 = 19.792 \text{ €}$

##### Hackschnitzel:

Investitionskosten  $I_0 = 31.407 \text{ €}$

#### Kapitalgebundene Kosten

Für Pellets und Hackschnitzel entstehen kapitalgebundene Kosten für den Kessel, die Förderschnecke, den Lagerraum, den Speicher und für die diversen Anlagenkomponenten.

$$\text{Kapitalgebundene Kosten } K_K = f_K * I_0$$

Der prozentuale Anteil der Instandsetzungskosten( $f_K$ ) wird mit 0,01 festgelegt.<sup>136</sup>

##### Pellets:

$$K_K = 0,01 * (6.700 \text{ €} + 2.592 \text{ €} + 2.000 \text{ €} + 3.500 \text{ €}) = 147,92 \approx 148 \text{ €}$$

##### Hackschnitzel:

$$K_K = 0,01 * (16.315 \text{ €} + 2.592 \text{ €} + 2.000 \text{ €} + 5.500 \text{ €}) = 264,07 \approx 264 \text{ €}$$

#### Verbrauchsgebundene Kosten

Bei den aktuellen Brennstoffpreisen wird, von den unter Punkt 4.3.1 eruierten Preisen von 237 € pro Tonne Pellets und 27 € pro Schüttraummeter Hackgut ausgegangen. Für die Berechnung des jährlichen Verbrauchs wird der errechnete Jahresbedarf des jeweiligen Brennstoffs herangezogen.

$$\text{Verbrauchsgebundene Kosten } K_V = K_a + K_{a\text{Hilf}}$$

Als Umwälzpumpe dient abermals ein Gerät mit einer Leistung von 132 W.

---

<sup>136</sup> Vgl. VDI 2067 Blatt 1 (2010).

Pellets:

Jahresenergiekosten  $K_a = M_p \cdot k_{SA} = 4,875 \text{ t} \cdot 237 \text{ €} = 1.155,38 \approx 1.155 \text{ €}$

Jahreshilfsenergiekosten  $K_{aHilf} = 132 \text{ W} \cdot 1.800 \text{ h/a} \cdot 0,1890 \text{ €/kWh} = 44,91 \approx 45 \text{ €}$

$K_V = K_a + K_{aHilf} = 1.155 \text{ €} + 45 \text{ €} = \mathbf{1.200 \text{ €}}$

Hackgut:

Jahresenergiekosten  $K_a = M_h \cdot k_{SA} = 32 \text{ m}^3 \cdot 27 \text{ €} = 864 \text{ €}$

Jahreshilfsenergiekosten  $K_{aHilf} = 132 \text{ W} \cdot 1.800 \text{ h/a} \cdot 0,1890 \text{ €/kWh} = 44,91 \approx 45 \text{ €}$

$K_V = K_a + K_{aHilf} = 864 \text{ €} + 45 \text{ €} = \mathbf{909 \text{ €}}$

**Betriebsgebundene Kosten**

Durch Holzstaub und die bei der Verbrennung entstehende Asche ist eine regelmäßige Wartung bei Biomasseheizungen zwingend erforderlich. Die jährlichen betriebsgebundenen Kosten für Pelletsheizungen betragen 240 €. Hackschnitzelheizungen sind minimal teurer, da das Hackgut während des Förderweges in seltenen Fällen Blockaden aufbaut, welche beseitigt werden müssen. Es ist daher von Kosten in der Höhe von 270 € auszugehen.<sup>137</sup> Die Kosten für den Schornsteinfeger sind bereits inkludiert.

Pellets:

Betriebsgebundene Kosten  $K_B = \mathbf{240 \text{ €}}$

Hackgut:

Betriebsgebundene Kosten  $K_B = \mathbf{270 \text{ €}}$

**Kapitalwert**Pellets:

$$BWF = \frac{1 - \left(\frac{r_x}{q}\right)^t}{q - r_x} = \frac{1 - \left(\frac{1,0375}{1}\right)^{25}}{1 - 1,0375} = 40,27$$

Gesamtbarwert  $BW_{ges} = (K_K + K_V + K_B) \cdot BWF = 1.588 \text{ €} \cdot 40,27 = 63.948,76 \text{ €} \approx 63.949 \text{ €}$

Kapitalwert  $KW = -I_0 - BW_{ges} = -19.792 \text{ €} - 63.949 \text{ €} = \mathbf{-83.741 \text{ €}}$

<sup>137</sup> Vgl. URL: <http://www.pelletheizung-infos.de/index.php/wartung-und-service> (Zugriff: 23.05.2013).

Hackgut:

$$BWF = \frac{1 - \left(\frac{r_x}{q}\right)^t}{q - r_x} = \frac{1 - \left(\frac{1,04}{1}\right)^{25}}{1 - 1,04} = 41,65$$

$$\text{Gesamtbarwert } BW_{\text{ges}} = (K_K + K_V + K_B) * BWF = 1.443 \text{ €} * 41,65 = 60.100,95 \text{ €} \approx 60.101 \text{ €}$$

$$\text{Kapitalwert } \mathbf{KW} = - I_0 - BW_{\text{ges}} = - 31.407 \text{ €} - 60.101 \text{ €} = - \mathbf{91.508 \text{ €}}$$

### Kostenvergleich

Pellets:

$$\begin{aligned} \text{Fixkosten } K_{\text{fix}} &= \text{kalk. Abschreibungen} + K_K + K_B = \frac{I_0}{t} + K_K + K_B = \\ &= \frac{19.792 \text{ €}}{25 \text{ Jahre}} + 148 \text{ €} + 240 \text{ €} = 1.179,68 \text{ €} \approx 1.180 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\text{variable Kosten } K_{\text{var}} = K_V = 1.200 \text{ €}$$

$$\text{jährliche Gesamtkosten } \mathbf{K_{\text{ges}}} = K_{\text{fix}} + K_{\text{var}} = 1.180 \text{ €} + 1.200 \text{ €} = \mathbf{2.380 \text{ €}}$$

Hackgut:

$$\begin{aligned} \text{Fixkosten } K_{\text{fix}} &= \text{kalk. Abschreibungen} + K_K + K_B = \frac{I_0}{t} + K_K + K_B = \\ &= \frac{31.407 \text{ €}}{25 \text{ Jahre}} + 264 \text{ €} + 270 \text{ €} = 1.790,28 \text{ €} \approx 1.790 \text{ €} \end{aligned}$$

$$\text{variable Kosten } K_{\text{var}} = K_V = 909 \text{ €}$$

$$\text{jährliche Gesamtkosten } \mathbf{K_{\text{ges}}} = K_{\text{fix}} + K_{\text{var}} = 1.790 \text{ €} + 909 \text{ €} = \mathbf{2.699 \text{ €}}$$

## 5. Nicht erneuerbare Energiequellen

Um die Wirtschaftlichkeit von regenerativen Energiesystemen vernünftig beurteilen zu können, muss ein Vergleich mit konventionellen Heizungssystemen hergestellt werden. Die Gegenüberstellung wird mit einer herkömmlichen Öl- und einer Gasheizung durchgeführt. Auf die Funktionsweise dieser konventionellen Heizungsanlagen wird im Zuge der vorliegenden Arbeit nicht näher eingegangen. Es wurden lediglich Informatio, über die zu erwartenden Kosten, die bei der Anschaffung einer Öl- oder Gasheizung anfallen, eingeholt.

### 5.1 Ölbrennwertanlage

#### Anlagenbestandteile

Ölbrennwertanlage	
Kostenbestandteil	Betrag
Ölbrennwertkessel	€ 3.323,-
Warmwasserspeicher	€ 1.024,-
Diverse Anlagenbestandteile	€ 1.500,-
Schornstein	€ 2.500,-
Installationskosten und Abnahme	€ 2.000,-
Heizöltank (3.000 Liter) und Lagerraum	€ 3.500,-

Tabelle 9: Kostenaufstellung der Ölbrennwertanlage (eigene Darstellung)

Zur Erbringung der essentiellen Heizlast wurde ein WOLF (Modell: COB-15 ComfortLine) Ölbrennwertkessel bestimmt.<sup>138</sup> Als Speicher wurde ein VAILLANT (Modell: uniSTOR VIH-R) Gerät ausgewählt, der ein Volumen von 300 Litern Warmwasser speichern kann. Für die Ermittlung der übrigen Kosten wurden Mittelwerte aus diversen Literatur- und Internetquellen gebildet.

<sup>138</sup> Vgl. URL: [http://www.unidomo.eu/oel-brennwert/wolf-cob-15-comfortline-oelbrennwertheizung-brennwert-oelkessel/a-21093/?utm\\_expId=33252204-0&utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.at%2F](http://www.unidomo.eu/oel-brennwert/wolf-cob-15-comfortline-oelbrennwertheizung-brennwert-oelkessel/a-21093/?utm_expId=33252204-0&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.at%2F) (Zugriff: 06.04.2013).

## Berechnung

### Investitionskosten

Die aufsummierten Kostenpositionen ergeben folgende Investitionssumme.

Investitionskosten  $I_0 = 13.847 \text{ €}$

### Kapitalgebundene Kosten

Bei Ölbrennwertanlagen entstehen Instandsetzungskosten für den Ölkessel, den Warmwasserspeicher, den Heizöltank und für diverse Anlagenbestandteile.

$$\text{Kapitalgebundene Kosten } K_K = f_K \cdot I_0$$

Der prozentuale Anteil der Instandsetzungskosten( $f_K$ ) wird mit 0,01 festgelegt.<sup>139</sup>

$$K_K = 0,01 \cdot (3.323 \text{ €} + 1.024 \text{ €} + 1.500 \text{ €} + 3.500 \text{ €}) = 93,47 \approx 93 \text{ €}$$

### Verbrauchsgebundene Kosten

Aus dem Datenblatt des Ölbrennwertkessels ist eine Jahresnutzungszahl ( $\beta_b$ ) von 95 % zu entnehmen. Der aktuelle Ölpreis ( $k_{SA}$ ) liegt bei 0,9246 €/Liter (Stand: Mai 2013).<sup>140</sup> Der Energiegehalt von Heizöl liegt bei 10 kWh/Liter.<sup>141</sup>

$$\text{Verbrauchsgebundene Kosten } K_V = K_a + K_{aHilf}$$

Die bereits in anderen Heizsystemen zum Einsatz gekommene Umwälzpumpe mit einer Leistung von 132 W wird auch in dieser Heizanlage verwendet.

$$\text{Jahresenergiebedarf } B_a = \frac{Q_H + Q_{Wges}}{\beta_b} = \frac{14.200 \text{ kWh/a} + 7.543 \text{ kWh/a}}{0,95} = 22.887,37$$

$$\approx 22.887 \text{ kWh/a}$$

$$\text{Jahresenergiekosten } K_a = B_a \cdot k_{SA} = \frac{22.887 \text{ kWh/a}}{10 \text{ kWh/Liter}} \cdot 0,9246 \text{ €/Liter} = 2.116,13 \approx 2.116 \text{ €}$$

$$\text{Jahreshilfsenergiekosten } K_{aHilf} = 132 \text{ W} \cdot 1.800 \text{ h/a} \cdot 0,1890 \text{ €/kWh} = 44,91 \approx 45 \text{ €}$$

$$K_V = K_a + K_{aHilf} = 2.116 \text{ €} + 45 \text{ €} = 2.161 \text{ €}$$

<sup>139</sup> Vgl. VDI 2067 Blatt 1 (2010).

<sup>140</sup> Vgl. URL: <http://www.heizael24.at/tagespreis-direkt/6/3000/1> (Zugriff: 12.05.2013).

<sup>141</sup> Vgl. URL: <http://www.energiesparhaus.at/fachbegriffe/heizwert.htm> (Zugriff: 19.05.2013).



### Betriebsgebundene Kosten

Die jährlich zu erwartenden Kosten für Reinigungen, Wartungen und Inspektionen werden mit 170 € angenommen.<sup>142</sup>

Betriebsgebundene Kosten  $K_B = 170 \text{ €}$

### Kapitalwert

$$BWF = \frac{1 - \left(\frac{r_x}{q}\right)^t}{q - r_x} = \frac{1 - \left(\frac{1,0525}{1}\right)^{25}}{1 - 1,0525} = 49,41$$

Gesamtbarwert  $BW_{\text{ges}} = (K_K + K_V + K_B) \cdot BWF = 2.424 \text{ €} \cdot 49,41 = 119.769,84 \text{ €}$   
 $\approx 119.770 \text{ €}$

Kapitalwert  $KW = -I_0 - BW_{\text{ges}} = -13.847 \text{ €} - 119.770 \text{ €} = -133.617 \text{ €}$

### Kostenvergleich

$$\begin{aligned} \text{Fixkosten } K_{\text{fix}} &= \text{kalk. Abschreibungen} + K_K + K_B = \frac{I_0}{\text{Laufzeit}} + K_K + K_B \\ &= \frac{13.847 \text{ €}}{25 \text{ Jahre}} + 93 \text{ €} + 170 \text{ €} = 816,88 \text{ €} \approx 817 \text{ €} \end{aligned}$$

variable Kosten  $K_{\text{var}} = K_V = 2.161 \text{ €}$

jährliche Gesamtkosten  $K_{\text{ges}} = K_{\text{fix}} + K_{\text{var}} = 817 \text{ €} + 2.161 \text{ €} = 2.978 \text{ €}$

## 5.2 Gasbrennwertanlage

### Anlagenbestandteile

Gasbrennwertanlage	
Kostenbestandteil	Betrag
Gasbrennwertkessel	€ 1.968,-
Warmwasserspeicher	€ 1.024,-
Diverse Anlagenbestandteile	€ 1.500,-
Schornstein	€ 2.500,-
Installationskosten und Abnahme	€ 2.000,-
Gasanschluss	€ 1.500,-

Tabelle 10: Kostenaufstellung der Gasbrennwertanlage (eigene Darstellung)

<sup>142</sup> Vgl. Schlabbach, Drescher, Kley (2012), S.147.

Der Gasbrennwertkessel für die Anlage stammt von VAILLANT (Modell: ecoTEC VC 126), bei welchem hauptsächlich darauf geachtet wurde, dass die notwendige Heizlast erbracht werden kann.<sup>143</sup> Der bei der Ölheizung verwendete Speicher lässt sich auch bei der Gasbrennwertanlage einsetzen. Die restlichen Kostenpositionen wurden wiederum aus Durchschnittspreisen von Internet- und Literaturquellen bezogen.

## Berechnung

### Investitionskosten

Die Investitionskosten ergeben sich aus der Summe der Kosten der Anlagenbestandteile.

Investitionskosten  $I_0 = 10.492 \text{ €}$

### Kapitalgebundene Kosten

Bei Gasanlagen werden Instandhaltungskosten für den Kessel, den Warmwasserspeicher und die diversen Anlagenbestandteile fällig.

Kapitalgebundene Kosten $K_K = f_K \cdot I_0$
---

Der prozentuale Anteil der Instandsetzungskosten( $f_K$ ) wird mit 0,01 festgelegt.<sup>144</sup>

$$K_K = 0,01 \cdot (1.968 \text{ €} + 1.024 \text{ €} + 1.500 \text{ €}) = 44,92 \approx 45 \text{ €}$$

### Verbrauchsgebundene Kosten

Die zur Verbrauchsberechnung benötigte Jahresnutzungszahl ( $\beta_b$ ) ist mit 90 % im Datenblatt des Herstellers angegeben. Der aktuell günstigste Gastarif ( $k_{SA}$ ) liegt bei 0,0637 €/kWh (Stand: Mai 2013 - ohne Neukundenrabatt).<sup>145</sup>

Verbrauchsgebundene Kosten $K_V = K_a + K_{aHilf}$
--

Zur Berechnung der Hilfsenergie wird wieder eine Umwälzpumpe mit einer Leistung von 132 W herangezogen.

$$\text{Jahresenergiebedarf } B_a = \frac{Q_H + Q_{Wges}}{\beta_b} = \frac{14.200 \text{ kWh/a} + 7.543 \text{ kWh/a}}{0,9} = 24.158,89$$

$$\approx 24.159 \text{ kWh/a}$$

<sup>143</sup> Vgl. URL: <http://www.unidomo.eu/gas-brennwert/vaillant-ecotec-plus-vc-126-3-5-gasbrennwerttherme-brennwertgastherme-5-15-kw/a-15762/> (Zugriff: 06.04.2013).

<sup>144</sup> Vgl. VDI 2067 Blatt 1 (2012).

<sup>145</sup> Vgl. URL: <http://www.e-control.at/de/konsumenten/gas/der-gaspreis/gaspreis-monitor> (Zugriff: 12.05.2013).

Jahresenergiekosten  $K_a = B_a \cdot k_{SA} = 24.159 \text{ kWh/a} \cdot 0,0637 \text{ €/kWh} = 1.538,93 \approx 1.539 \text{ €}$

Jahreshilfsenergiekosten  $K_{aHilf} = 132 \text{ W} \cdot 1.800 \text{ h/a} \cdot 0,1890 \text{ €/kWh} = 44,91 \approx 45 \text{ €}$

$K_V = K_a + K_{aHilf} = 1.539 \text{ €} + 45 \text{ €} = \mathbf{1.584 \text{ €}}$

### Betriebsgebundene Kosten

Wie bei der Ölbrennwertanlage ist auch hier mit einem Betrag in der Größenordnung von 170 € zu rechnen. Dies beinhaltet auch die Kosten für den jährlichen Einsatz des Rauchfangkehrers.<sup>146</sup>

Betriebsgebundene Kosten  $K_B = \mathbf{170 \text{ €}}$

### Kapitalwert

$$BWF = \frac{1 - \left(\frac{r_x}{q}\right)^t}{q - r_x} = \frac{1 - \left(\frac{1,035}{1}\right)^{25}}{1 - 1,035} = 38,95$$

Gesamtbarwert  $BW_{ges} = (K_K + K_V + K_B) \cdot BWF = 1.799 \text{ €} \cdot 38,95 = 70.071,05 \text{ €} \approx 70.071 \text{ €}$

Kapitalwert  $KW = -I_0 - BW_{ges} = -10.492 \text{ €} - 70.071 \text{ €} = \mathbf{-80.563 \text{ €}}$

### Kostenvergleich

$$\begin{aligned} \text{Fixkosten } K_{fix} &= \text{kalk. Abschreibungen} + K_K + K_B = \frac{I_0}{t} + K_K + K_B = \\ &= \frac{10.492 \text{ €}}{25 \text{ Jahre}} + 45 \text{ €} + 170 \text{ €} = 634,68 \text{ €} \approx 635 \text{ €} \end{aligned}$$

variable Kosten  $K_{var} = K_V = 1.584 \text{ €}$

jährliche Gesamtkosten  $K_{ges} = K_{fix} + K_{var} = 635 \text{ €} + 1.584 \text{ €} = \mathbf{2.219 \text{ €}}$

---

<sup>146</sup> Vgl. Schlabbach, Drescher, Kley (2012), S.147.

## 6. Vergleich der Alternativen

### 6.1 Gegenüberstellung

Nachdem für sämtliche Energieformen eine Berechnung über die Investition und deren Folgekosten erstellt wurde, werden alle Ergebnisse einander gegenübergestellt. Der Vergleich erfolgt in zwei Abschnitten. Zuerst werden die unterschiedlichen Heizsysteme einander gegenübergestellt und anschließend die Möglichkeiten des Strombezuges.

#### 6.1.1 Heizkostenvergleich

##### Kostenvergleichsrechnung

	Heizkosten					
	Geothermie	Solarthermie	Pellets	Hackschnitzel	Öl	Gas
Fixkosten	€ 779	€ 1.239	€ 1.180	€ 1.790	€ 817	€ 65
Variable Kosten	€ 958	€ 814	€ 1.200	€ 909	€ 2.161	€ 1.584
<b>Gesamtkosten</b>	<b>€ 1.737</b>	<b>€ 2.053</b>	<b>€ 2.380</b>	<b>€ 2.699</b>	<b>€ 2.977</b>	<b>€ 2.219</b>

Tabelle 11: Kostenvergleich der Heizungssysteme (eigene Darstellung)

Der Kostenvergleich zeigt, dass die Erdwärmepumpe die geringsten Gesamtkosten verursacht. Die Solarthermie kommt dem Ergebnis der Geothermieranlage am nächsten, kann aber trotz der niedrigeren Betriebskosten nicht mit der Erdwärme konkurrieren. Die Heizungssysteme, die mit Biomasse betrieben werden, finden sich im hinteren Mittelfeld wieder. Die Hackschnitzelanlage hat mit relativ hohen Investitionskosten zu kämpfen und ist im Endeffekt erheblich teurer als eine konventionell betriebene Gasheizung. Die Installation einer Ölbrennwertanlage ist die schlechteste Alternative. Hier ist mit Kosten von beinahe 3.000 € zu rechnen.

##### Kapitalwertmethode

Die Kapitalwertmethode soll zusätzlich den Einfluss von Preissteigerungen abbilden und zeigen, ob sich diese auf das Ergebnis auswirken. Die jährlichen Preissteigerungsraten wurden unter in Kapitel 3 definiert (Strom: +3,5 %; Öl: +5,25 %; Gas: +3,5 %; Pellets: +3,75 %; Hackgut: +4 %).

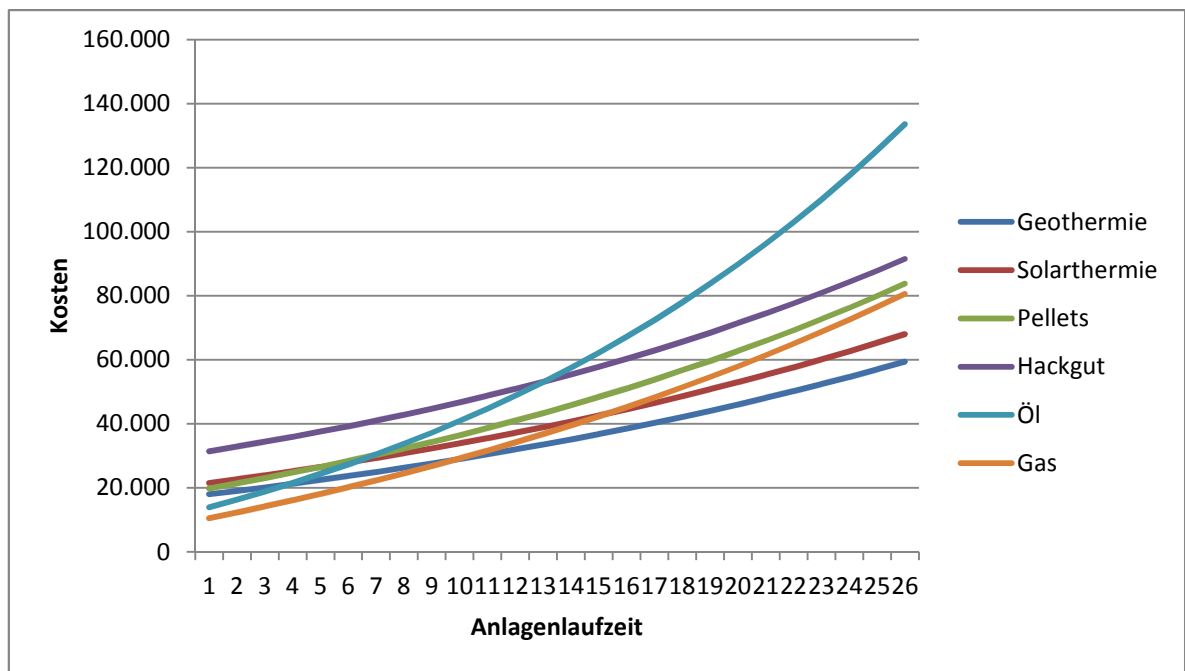


Abb. 32: Kostenentwicklung der Heizungssysteme (eigene Darstellung)

Auch die Kapitalwertmethode zeigt ein ähnliches Bild wie die Kostenvergleichsmethode. Die Vorteilhaftigkeit der einzelnen Heizungssysteme ist gleich geblieben. Die Geothermieranlage ist auf lange Sicht wieder die beste Wahl. Die anfänglich etwas höheren Investitionskosten werden ab dem 10. Einsatzjahr wettgemacht, und die Gasanlage wird als kostengünstigstes Heizungssystem abgelöst. Die berücksichtigten Preissteigerungen veranschaulichen jedoch, dass die zu erwartenden endgültigen Kosten massiv über denen der anderen Systeme liegen.

Da die zu erwartenden Preissteigerungen naturgemäß schwierig vorherzusagen sind, wird zusätzlich zwischen einem niedrigen und einem hohen Preissteigerungsniveau unterschieden, welches sich wie folgt zusammensetzt:

- Preissteigerungsniveau niedrig → Strom: +1,5 %; Öl: +1,75 %; Gas: +1,5 %; Pellets: +1,25 %; Hackgut: +1,25 %
- Preissteigerungsniveau hoch → Strom: +5 %; Öl: +6,5 %; Gas: +5 %; Pellets: +5,5 %; Hackgut: +5,5 %

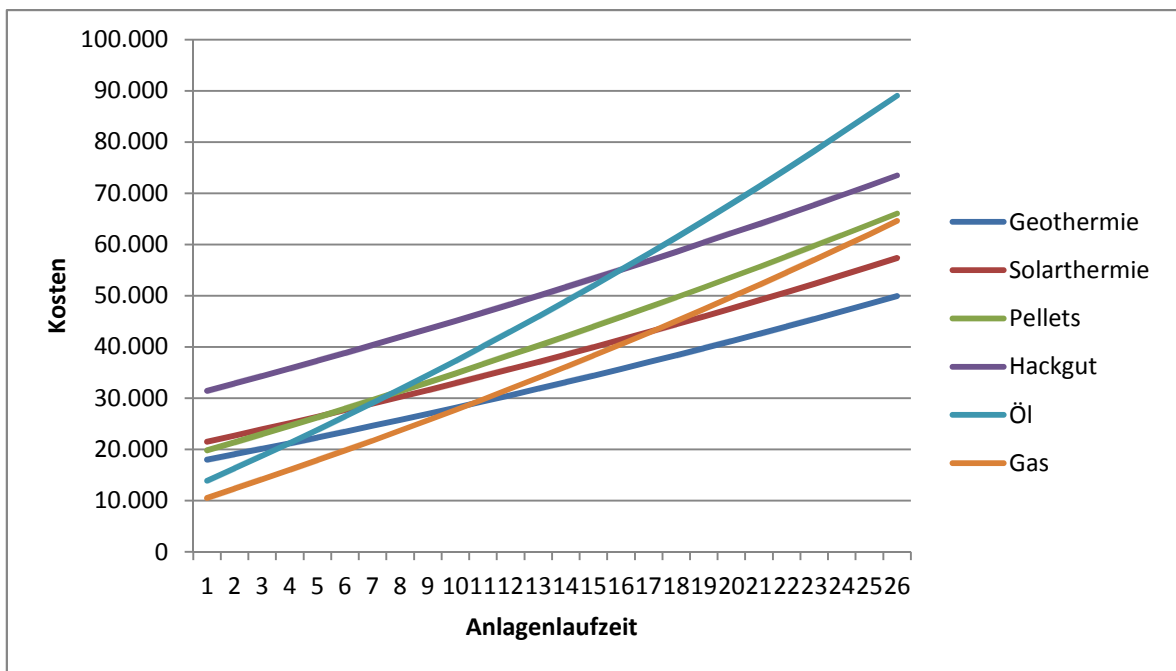


Abb. 33: Kostenentwicklung der Heizungssysteme mit niedrigem Preissteigerungsniveau (eigene Darstellung)

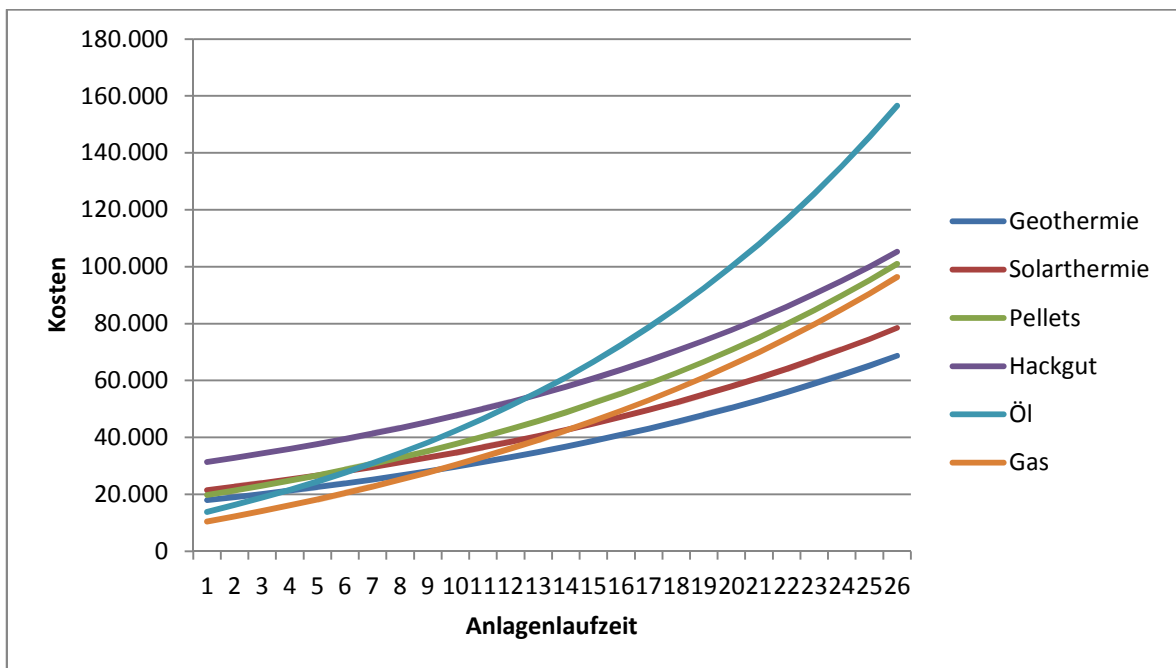


Abb. 34: Kostenentwicklung der Heizungssysteme mit hohem Preissteigerungsniveau (eigene Darstellung)

Auch nach der Änderung der Preissteigerungsraten bleibt die Rangfolge der Investitionsalternativen unverändert. Das Heizen mit Erdwärme ist weiterhin das zu favorisierende Heizsystem.

## 6.1.2 Stromkostenvergleich

### Kostenvergleichsrechnung

	Stromkosten	
	Photovoltaik	Netzbezug
Fixkosten	€ 1.245	-
Variable Kosten	€ 167	€ 1.040
<b>Gesamtkosten</b>	<b>€ 1.412</b>	<b>€ 1.040</b>

Tabelle 12: Kostenvergleich der Strombezugsalternativen (eigene Darstellung)

Der relativ einfach gehaltene Kostenvergleich der Möglichkeiten des Strombezugs zeigt die zu erwartenden Kosten für die Verwendung von Photovoltaik und den Netzbezug. Der Bezug aus dem öffentlichen Netz ergibt sich aus der Multiplikation des Strombedarfs (5.500 kWh / a) mit dem aktuellen Strombezugspreis. Damit wurde festgestellt, dass die Anschaffung einer Photovoltaikanlage im vorgesehenen Ausmaß nicht lohnenswert ist.

### Kapitalwertmethode

Da die Errichtung einer Photovoltaikanlage nicht zwingend notwendig ist, soll beim Vergleich der Alternativen durch die Kapitalwertmethode auch die Aufnahme eines Kredites oder die Veranlagung von Eigenkapital am Kapitalmarkt berücksichtigt werden.

Es wird die Annahme getroffen, dass ein Kredit in Höhe der Investitionssumme und mit einer Verzinsung von 7 % aufgenommen wird. Die Kreditlaufzeiten werden mit 3, 10 oder 25 Jahren veranschlagt. Die Anlage der Investitionssumme am Kapitalmarkt wird mit 3,5 % verzinst. Vom Zinsertrag wird jährlich die in Österreich übliche Kapitalertragssteuer von 25 % abgezogen.

Steht Eigenkapital zur Verfügung, so soll durch die Berechnung eine Entscheidung getroffen werden können, ob eine Photovoltaikanlage errichtet werden soll oder ob der Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen und das Eigenkapital stattdessen am Kapitalmarkt veranlagt werden soll.

Wenn kein Eigenkapital zur Verfügung steht, muss entschieden werden, ob ein Kredit für die Anschaffung einer Photovoltaikanlage aufgenommen werden soll oder ob auf die Errichtung der Anlage verzichtet und der Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen wird.

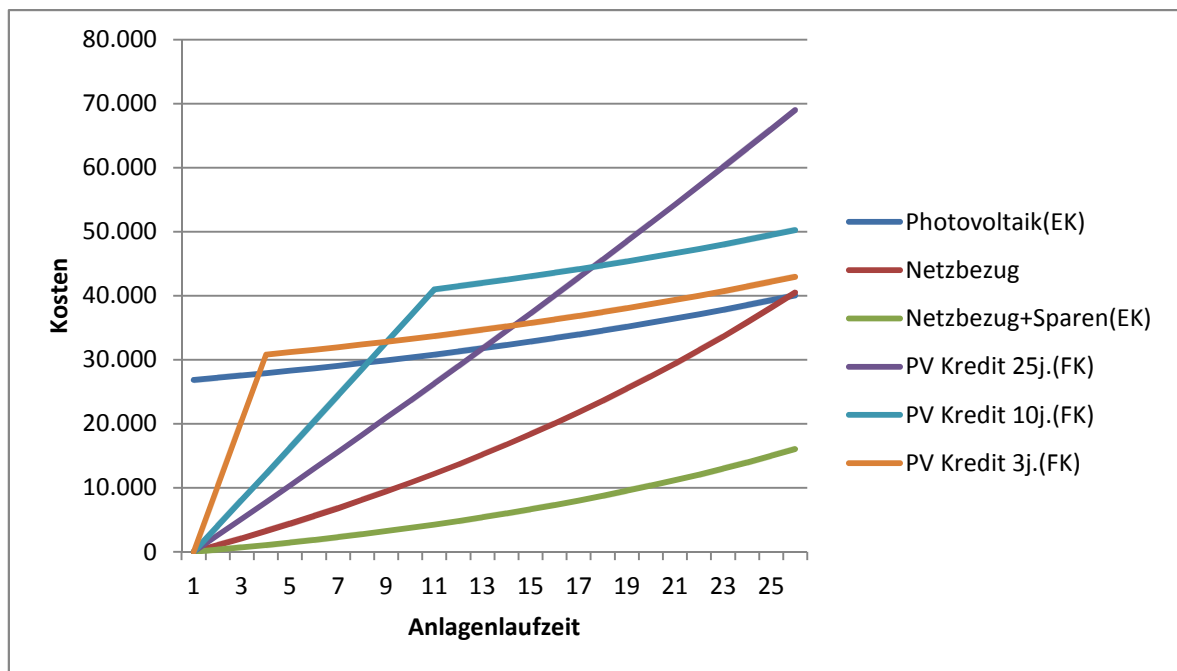


Abb. 35: Kostenentwicklung von Strombezugsalternativen (eigene Darstellung)

Der Vergleich der unterschiedlichen Möglichkeiten lässt erkennen, dass bei Vorhandensein von Eigenkapital zur Errichtung einer Anlage dieses besser am Kapitalmarkt angelegt wird. Durch die veranlagte Investitionssumme kann ein beachtlicher Zinsgewinn realisiert werden, der die Investition in eine Photovoltaikanlage im Endeffekt unvorteilhaft erscheinen lässt.

Bei der Finanzierung der Anlage durch Fremdkapital ist nach Ablauf der Laufzeit von 25 Jahren die Alternative des reinen Netzbezuges vielversprechender. Der zukünftige Trend zeigt jedoch, dass wenige Jahre später bereits die Aufnahme eines Kredites mit einer Laufzeit von 3 Jahren kostengünstiger wäre. Von der Aufnahme von Krediten mit einer hohen Laufzeit muss jedoch generell abgeraten werden.

Wie auch beim Heizkostenvergleich soll die Annahme eines niedrigeren oder höheren Preis- und Zinsniveaus die Möglichkeiten der Kostenentwicklung erweitern. Es wird von folgenden Parametern ausgegangen:

- Preissteigerungsniveau niedrig → Strom: +1,5 %; Sparzinsen: 2 %; Kreditzinsen: 4 %; KEST: 25 %
- Preissteigerungsniveau hoch → Strom: +5 %; Sparzinsen: 5 %; Kreditzinsen: 10 %; KEST: 25 %



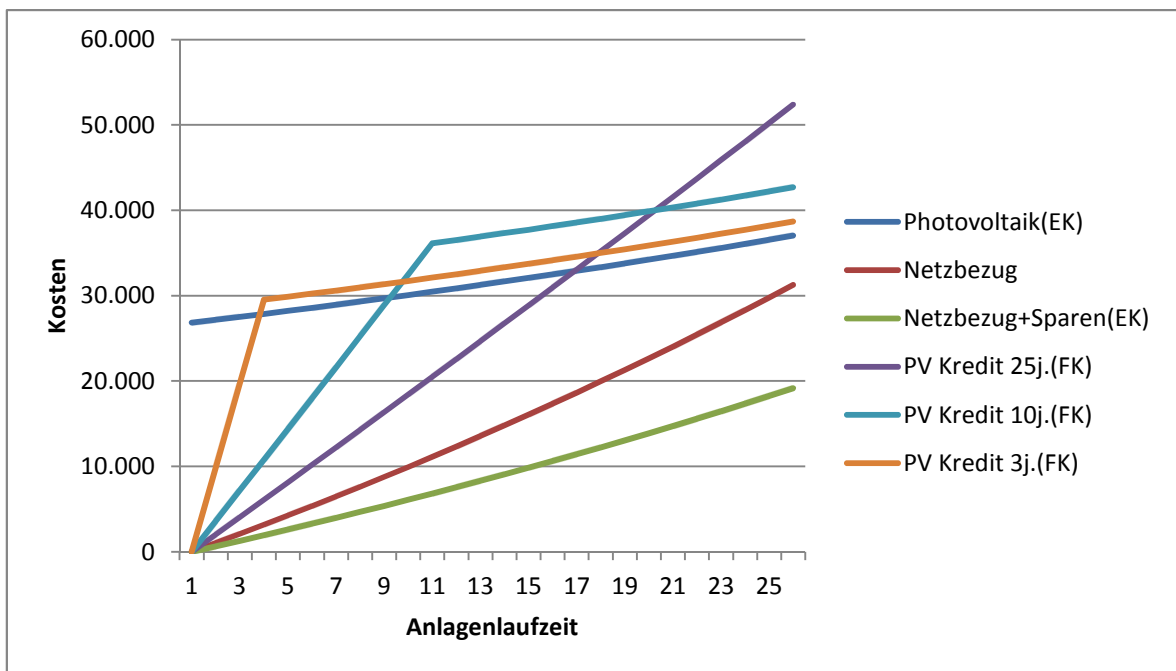


Abb. 36: Kostenentwicklung von Strombezugsalternativen mit niedrigem Preissteigerungsniveau (eigene Darstellung)

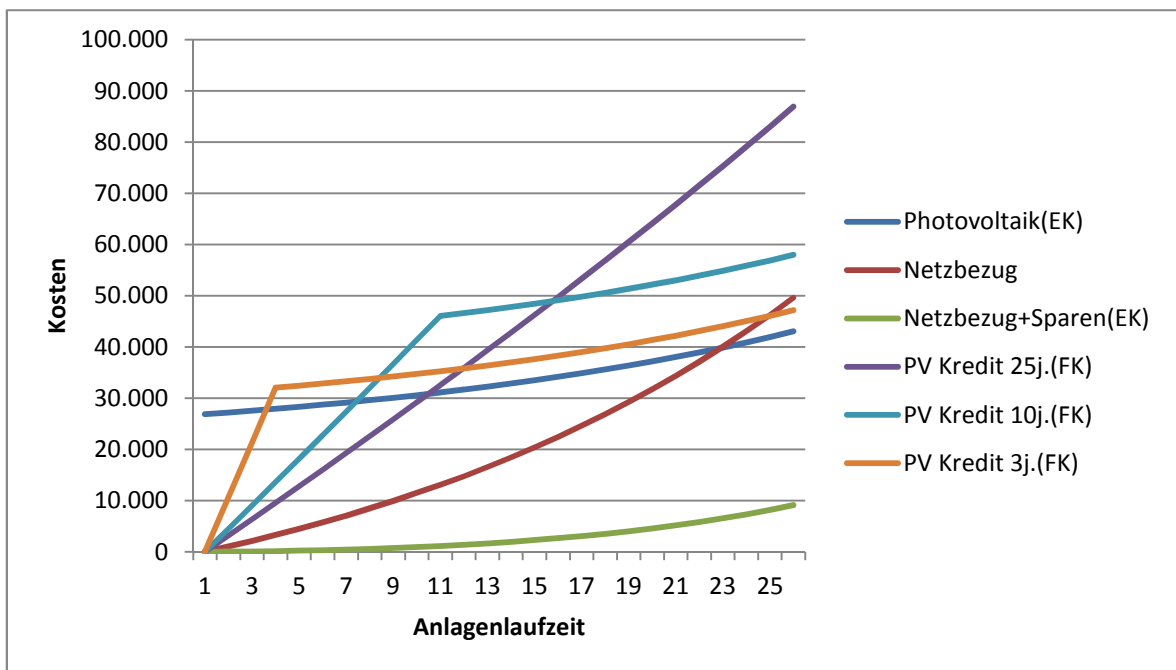


Abb. 37: Kostenentwicklung von Strombezugsalternativen mit hohem Preissteigerungsniveau (eigene Darstellung)

Aus den neuerlich, mit veränderten Daten durchgeführten Berechnungen lässt sich able- sen, dass ein hohes Preissteigerungsniveau der Errichtung einer Photovoltaikanlage ent- gegen kommt. Bei Finanzierung durch Fremdkapital unter Inanspruchnahme eines Kredi- tes mit geringer Laufzeit rechnet sich die Investition bereits vor dem Ende der veran-

schlagten Laufzeit. Bei vorhandenem Eigenkapital ist die Veranlagung am Kapitalmarkt zu empfehlen. Bei niedriger Preissteigerungsrate lohnt die Investition weder mit Eigen- noch mit Fremdkapital.

## 6.2 Optimierungspotenzial

Nach der Gegenüberstellung der Ergebnisse stellt sich die Frage, ob es möglich ist, die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Investitionsalternativen weiter zu verbessern. In der Praxis kommt es immer wieder vor, dass unterschiedliche Energieformen gemeinsam in einem Gesamtsystem ihre Arbeit verrichten, um Synergieeffekte zu erzielen. In diesem Abschnitt soll daher untersucht werden, inwieweit durch die Kombination verschiedener Energieformen Einsparungen erzielt werden können. Als Kandidaten für eine Optimierung bieten sich naturgemäß Investitionen an, die bereits in der Gegenüberstellung relativ gut abgeschnitten haben und bei deren Betrieb niedrige laufende Kosten oder geringen Investitionskosten anfallen.

### 6.2.1 Heizkostenoptimierung

Die Solarthermie eignet sich bei der Kombination von Heizsystemen besonders gut für eine Optimierung, da der Anlage keine Brennstoffe zum Erzeugen von Energie zugeführt werden müssen. Durch das enorme Solarangebot in den Sommermonaten kann die Erzeugung von Wärme in dieser Zeit komplett durch die Solarthermieanlage erbracht werden. Im Winter wird zur Erzeugung von Heizenergie und Warmwasser die Hilfe eines zusätzlichen Heizungssystems benötigt. In der bisherigen Berechnung wurde davon ausgegangen, dass diese Aufgabe von einer Gasbrennwertanlage verrichtet wird. Der Nachteil von Gasanlagen sind die relativ hohen Brennstoffkosten, und so wird untersucht, ob es sich lohnt, diese durch eine Geothermieanlage oder Pelletsheizung zu ersetzen. Für die Optimierungsinvestitionen werden folgende Kosten veranschlagt.

<b>Solarthermieanlage mit Geothermieanlage</b>	
<b>Kostenbestandteil</b>	<b>Betrag</b>
Solarkollektoren	€ 7.939,-
Kombispeicher	€ 2.592,-
Wärmepumpe	€ 8.100,-
Erdwärmekollektoren	€ 4.000,-
Diverse Anlagenbestandteile	€ 2.500,-
Installationskosten und Abnahme	€ 4.000,-

Tabelle 13: Kostenaufstellung der Solarthermieanlage mit Geothermieanlage (eigene Darstellung)

Solarthermieranlage mit Pelletsheizung	
Kostenbestandteil	Betrag
Solarkollektoren	€ 7.939,-
Kombispeicher	€ 2.592,-
Pelletsessel	€ 6.700,-
Schornstein	€ 2.500,-
Diverse Anlagenbestandteile	€ 2.750,-
Installationskosten und Abnahme	€ 3.250,-
Lagerraum und Fördersystem	€ 3.000,-

Tabelle 14: Kostenaufstellung der Solarthermieranlage mit Pelletsheizung (eigene Darstellung)

Durch den solaren Deckungsgrad der Solarthermieranlage von 50 % werden die Kosten für die Brennstoffe halbiert. Die kapital- und betriebsgebundenen Kosten wurden für die auf Geothermie basierte Alternative mit 250 € festgelegt. Für die Anlage mit Pelletheizungsunterstützung werden Kosten von 400 € angenommen. Werden die Kosten mittels Kapitalwertmethode berechnet und in die bereits bestehende Gegenüberstellung übernommen, lässt sich folgendes Ergebnis erkennen:

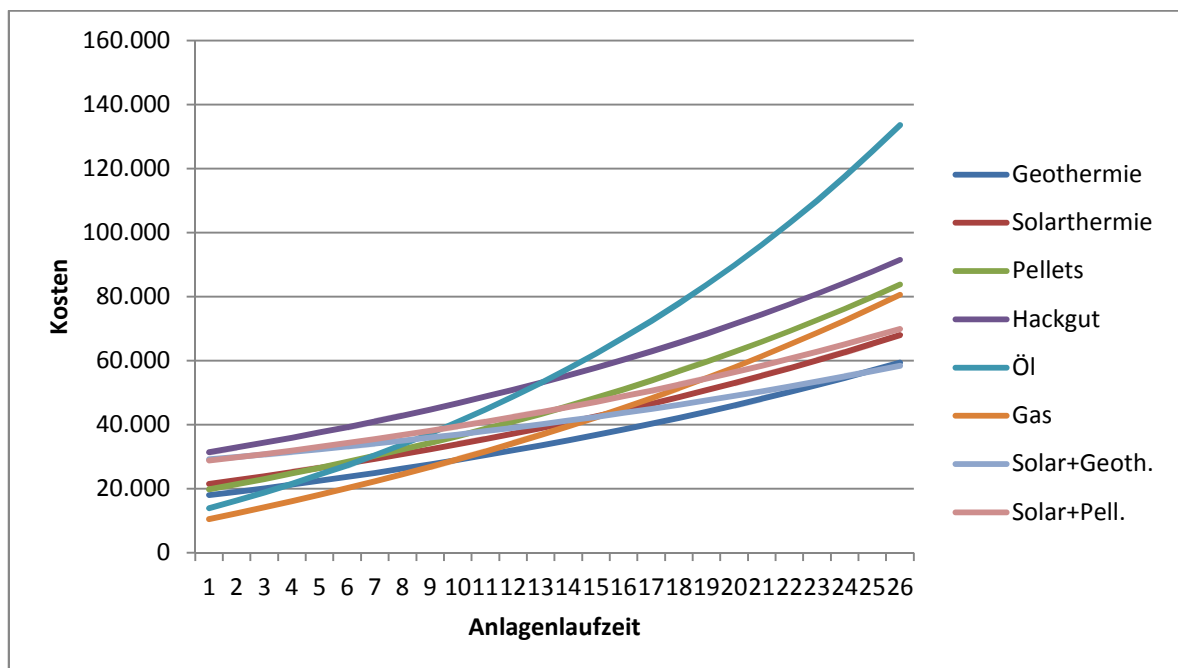


Abb. 38: Kostenentwicklung der Heizungssysteme mit optimierten Investitionsalternativen (eigene Darstellung)

Aus den optimierten Investitionsalternativen kann abgelesen werden, dass die Kombination einer Pelletsheizung mit einer Solarthermieranlage der reinen Pelletsheizung überlegen ist. Eine Solaranlage, die durch eine Gasheizung unterstützt wird, ist jedoch am Ende der 25 jährigen Laufzeit immer noch minimal kostengünstiger als die Variante mit der Pellets-

heizung. Der Trend zeigt aber, dass sich dieser Vorteil einige Jahre später bereits ändern wird und die geringeren laufenden Kosten die anfänglich höheren Investitionskosten wettmachen werden.

Betrachtet man die Kombination der Solarthermieranlage mit einer Geothermieranlage, so stellt sich heraus, dass diese der bisher vorteilhaftesten Investitionsalternative, der ganzjährig betriebenen Geothermieranlage, überlegen ist. Es ist also durchaus wirtschaftlich sinnvoll, die Wärmeversorgung in den Sommermonaten über eine Solarthermieranlage zu bewerkstelligen.

## 6.2.2 Stromkostenoptimierung

In Zeiten von abnehmenden Einspeisevergütungen und immer günstiger werdenden Solarzellen muss die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, den erzeugten Strom selbst zu verbrauchen, anstatt ihn in das öffentliche Netz einzuspeisen. Es liegt also nahe, dass eine Möglichkeit gesucht wird, große Energieverbraucher mit selbst erzeugtem Strom zu versorgen.<sup>147</sup> Von den untersuchten Investitionsalternativen ist die Geothermieranlage mit Abstand der größte Stromverbraucher. Der Strombedarf von 4.832 kWh / a nimmt nahezu die Ausmaße des jährlichen Strombedarfs des gesamten Haushalts an. Folglich soll untersucht werden, ob die Kombination einer Geothermieranlage mit einer Photovoltaikanlage wirtschaftlich sinnvoll ist. Um eine Abschätzung über das mögliche Einsparungspotenzial treffen zu können, ist die Kenntnis über die monatlichen Leistungen von Geothermie und Photovoltaikanlagen von hoher Notwendigkeit.

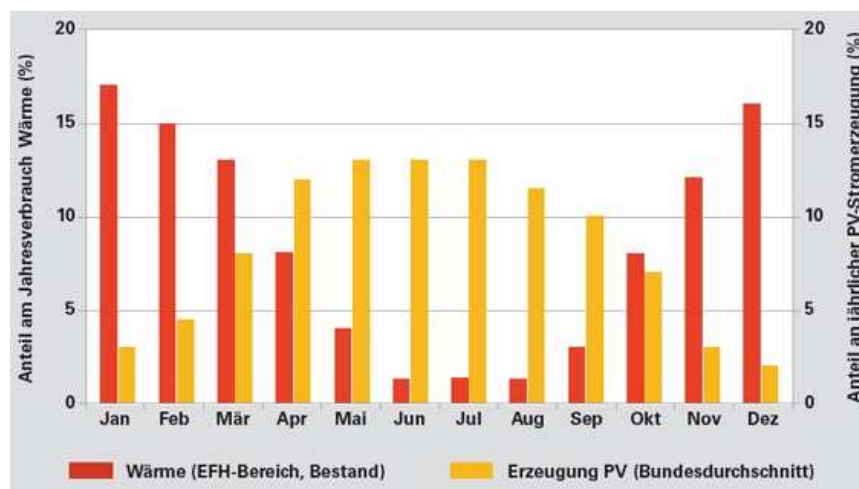


Abb. 39: Monatliche Anteile vom Jahreswärmeverbrauch und Photovoltaik-Stromerzeugung<sup>148</sup>

<sup>147</sup> Vgl. Röpcke (2013), S. 93.

<sup>148</sup> Vgl. URL: <http://www.heizungsfinder.de/waermepumpe/photovoltaik/pv-anlage-hinzukaufen> (Zugriff: 29.05.2013).

Wärmepumpen benötigen die meiste Energie im Winter. In den Wintermonaten ist das Angebot an Sonnenstrahlung jedoch beschränkt, wodurch eine Photovoltaikanlage den Bedarf der Wärmepumpe nicht komplett decken kann. In den Sommermonaten steht genug Sonnenenergie zur Verfügung, es wird allerdings lediglich Energie zur Aufbereitung des Warmwassers benötigt. Angebot und Nachfrage nach elektrischer Energie liegen somit im Jahresrhythmus denkbar ungünstig auseinander.

Vor diesem Hintergrund wird angenommen, dass die Stromkosten maximal um 50 % gesenkt werden können. Zur Erreichung dieses Wertes werden jedoch intelligente Steuerungen vorausgesetzt, die die Wärmepumpe hauptsächlich tagsüber aktivieren und den Verbrauch von überschüssigem Strom fördern. Der ursprüngliche Warmwasserspeicher der Geothermieranlage wird durch einen größeren Kombispeicher ersetzt, um längere Laufzeiten der Anlage zu ermöglichen und Wärmeenergie für die Nachtstunden bereitzuhalten. Ziel ist es den, tagsüber erzeugten Strom bestmöglich zu nutzen, da der Einsatz der Wärmepumpe in den Nachtstunden unwirtschaftlich ist.<sup>149</sup> Um den zusätzlichen Strombedarf zu decken, wird die installierte Solarzellenfläche um den Anteil des Strombedarfs der Geothermieranlage erweitert. Der Lithiumspeicher bleibt unverändert und dient vordergründig der vorgesehenen Versorgung des restlichen Haushalts. Aus den definierten Parametern ergeben sich nun folgende Investitionskosten.

<b>Geothermieranlage mit Photovoltaikunterstützung</b>	
<b>Kostenbestandteil</b>	<b>Betrag</b>
Solarzellen	€ 12.334,-
Batteriespeicher inkl. Wechselrichter	€ 15.900,-
Kombispeicher	€ 2.592,-
Wärmepumpe	€ 8.100,-
Erdwärmekollektoren	€ 4.000,-
Diverse Anlagenbestandteile	€ 3.500,-
Installationskosten und Abnahme	€ 5.000,-

Tabelle 15: Kostenaufstellung der Geothermieranlage mit Photovoltaikunterstützung (eigene Darstellung)

Wie auch bei der Gegenüberstellung der Stromkosten soll bei diesem Vergleich die Möglichkeit gegeben sein, das benötigte Eigenkapital für die Photovoltaikanlage am Kapitalmarkt anzulegen bzw. einen Kredit aufzunehmen.

<sup>149</sup> Vgl. Janzing (2013), S.66.

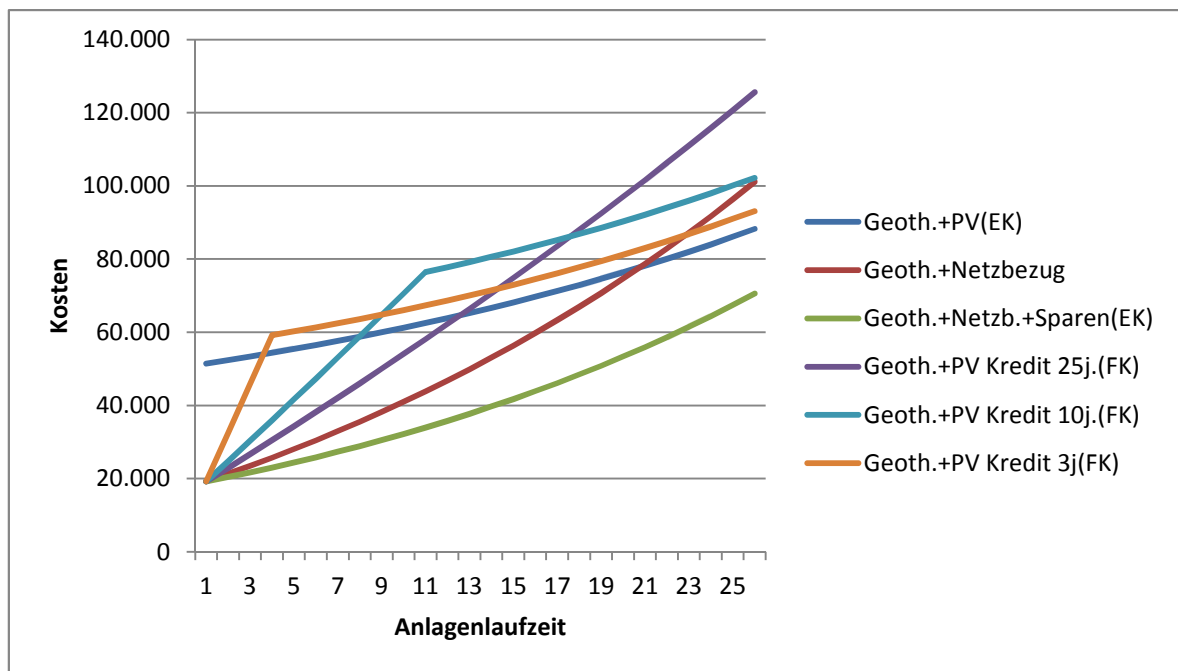


Abb. 40: Kostenentwicklung der Investitionsalternativen von Geothermieranlagen mit Photovoltaikunterstützung (eigene Darstellung)

Das Ergebnis zeigt, dass bei Verfügbarkeit von Eigenkapital die Veranlagung am Kapitalmarkt abermals die beste Investitionsalternative ist. Wird die Photovoltaikanlage über einen Kredit finanziert, so lässt sich ablesen, dass die Investition in eine Anlage zur Deckung des Strombedarfs der Geothermieranlage ab dem 23. Jahr vorteilhafter ist als eine Nicht-Investition, vorausgesetzt, das aufgenommene Kapital kann innerhalb von drei Jahren zurückgezahlt werden.

## 7. Schlussbetrachtung

### 7.1 Ergebnisinterpretation

Die gewonnenen Erkenntnisse der Wirtschaftlichkeitsanalyse belegen, dass sich eine Investition in eine regenerative Energieanlage, abgesehen vom ökologischen Aspekt, auch aus ökonomischer Sicht gegenüber fossilen Brennstoffanlagen durchaus rentiert. Über einen längeren Zeitraum zählen vor allem die laufenden Kosten einer Investitionsalternative zu den größten Kostentreibern. Mit einfachen Mitteln, wie der Wahl des günstigsten Strom- oder Gasanbieters, lassen sich jährlich Kosten einsparen. Aber nicht nur Brennstoffkosten, sondern auch Kosten für Wartung und Reparatur dürfen nicht unterschätzt werden. Anfänglich höhere Investitionskosten können durch geringe laufende Kosten meist wieder eingespielt werden.

Alle Berechnungen setzen eine optimale Funktion der Anlagen voraus, wodurch eine gewissenhafte Planung der Investition unabdinglich wird. Die Dämmung des Gebäudes muss den aktuellen technischen Standards entsprechen und darf nicht mehr Wärme abgeben als zugesichert wurde, da ansonsten ein nicht berücksichtigter Mehraufwand für das Heizungssystem entstehen würde, was wiederum zu mehr Kosten führt.

Je nach Anlagentyp sind die notwendigen Voraussetzungen bestmöglich zu untersuchen. Lässt z.B. die Entzugsleistung des Bodens, im Falle einer Geothermieanlage, nur  $10 \text{ W / m}^2$ , statt der am Standort vorhandenen  $30 \text{ W / m}^2$  zu, muss die Auswahl des Erdabsorbers auf die teurere Variante der Erdsonden fallen. Alternativ könnte natürlich auch die Kollektorfläche um das Dreifache erhöht werden, was aber zu einer benötigten Kollektorfläche von  $1.000 \text{ m}^2$  führen würde und weder wirtschaftlich noch technisch sinnvoll wäre. Erdkollektoren neigen bei einer Unterdimensionierung der Anlage zu einer Vereisung des Erdreichs, was im Winter den Totalausfall der Heizungssystems bedeuten könnte. Dies wäre nicht nur aus wirtschaftlicher Sicht eine Katastrophe für die Eigentümer des Einfamilienhauses.

Als kostengünstigstes Heizsystem wurde die Geothermieanlage ermittelt. Die Investitionskosten dieser Anlage liegen im Mittelfeld der verglichenen Investitionsalternativen. Hinzu kommt, dass die laufenden Kosten niedrig sind. Heizsysteme, die mit Erdwärme betrieben werden, sind nahezu wartungslos und verursachen diesbezüglich nur geringe Kosten.

Solarthermieanlagen können aufgrund der geringen Sonneneinstrahlung im Winter nicht ganzjährig als alleiniger Energielieferanten eingesetzt werden, sie eignen sich jedoch her-

vorrangig, um andere Heizsysteme zu unterstützen. Es werden zum Betrieb der Anlage keine Brennstoffe benötigt. Zur Gewährleistung des Betriebes wird lediglich eine Umwälzpumpe benötigt, die die Zirkulation des Flüssigkeitskreislaufs aufrecht hält. Die Kombination von Solarthermie und Geothermie konnte die Wirtschaftlichkeit der ursprünglich allein eingesetzten Geothermieranlage weiter steigern.

Von dem Einsatz von fossilen Brennstoffen kann generell abgeraten werden. Vor allem die Ölbrennwertanlage erzeugt enorme laufende Kosten, welche sich am Ende der Laufzeit zu einem außergewöhnlich hohen Betrag summieren. Gasanlagen erzeugen keine Kosten in so hohem Ausmaß, stellen jedoch auch nicht die optimale Investition dar. Durch die Möglichkeit der Kombination mit einer Solarthermieranlage lässt sich jedoch einiges an Brennstoffkosten einsparen. Diese Alternative würde sich auch für Einfamilienhäuser eignen, die bereits mit Gasbrennwertanlagen betrieben werden, um die zukünftigen laufenden Kosten zu verringern.

Biomasseheizungen konnten in diesem Vergleich nicht vollständig überzeugen, sind jedoch den konventionellen Heizungssystemen vorzuziehen, falls die Installation von Geothermie oder Solarthermie nicht möglich ist. Vor allem die Hackschnitzelanlage konnte in diesem konkreten Fall nur die Ölbrennwertanlage hinter sich lassen. Das schlechte Abschneiden liegt vor allem an der Tatsache, dass sich Hackschnitzelanlagen aufgrund der hohen Investitionskosten nur bedingt für Einfamilienhäuser eignen.<sup>150</sup> Anlagen, die mit Hackgut betrieben werden, versehen hauptsächlich in größeren Gebäuden (Mehrfamilienhäuser, Hotelanlagen, Bürogebäude, etc.) ihren Dienst. In ländlichen Gegenden ist es allerdings auch üblich, dass Land- und Forstwirte ihre Einfamilienhäuser mit Hackschnitzelanlagen heizen, sofern sie über eigene Waldgrundstücke verfügen, welche sich für die Eigenproduktion von Hackschnitzeln eignen.

Die Investition in eine Photovoltaikanlage will im konkreten Fall wohl überlegt sein. Die Finanzierung mit Eigenkapital ist nicht vorteilhaft, da die Veranlagung der Investitionssumme am Kapitalmarkt deutlich lohnender wäre. Bei Finanzierung durch Fremdkapital ist mit einer Amortisation erst am Ende der Laufzeit zu rechnen, vorausgesetzt die Preise für Strom sind starken jährlichen Steigerungen unterworfen. Da die Installation einer Photovoltaikanlage nicht zwingend notwendig ist, kann die Investition auch noch um einige Jahre verschoben, und damit spekuliert werden, dass die Preise für Lithium Speichersysteme weiter sinken werden, da diese erst kurzzeitig verfügbar sind und auch noch keine Langzeiterfahrungen existieren. Die abnehmenden Einspeisevergütungen werden die Nachfrage an Speicherlösungen steigen lassen, und weitere Firmen werden sich der Speicherentwicklung anschließen. Durch die Automobilindustrie wird aufgrund der fortschrei-

---

<sup>150</sup> Vgl. URL: <http://www.haustech-wachter.ch/holzheizungen.html> (Zugriff: 30.05.2013).



tenden Entwicklung von Elektroautomobilen ebenfalls mit positiven Auswirkungen auf den Speichersektor zu rechnen sein.

## 7.2 Fazit

Durch Schwankungen von Brennstoffpreisen lassen sich exakte Analysen über einen längeren Zeitraum nur schwer bewerkstelligen. Bei der Auswahl der Berechnungsgrundlagen ist daher sehr akribisch vorgegangen worden, um möglichst realitätsnahe Ergebnisse präsentieren zu können.

Die Auswahl des Energieversorgungssystems für ein neu zu errichtendes Gebäude ist eine folgeschwere Entscheidung, die bei der Planung des Hauses bereits miteinbezogen werden muss. Nachträgliche Änderungen führen zu unnötigen Mehrkosten, die vermieden werden könnten. Die Aneignung von Hintergrundwissen über die Thematik ist von Vorteil, um bereits selbst eigene Berechnungen anzustellen und die zu erwartenden Kosten abschätzen zu können. Die Beratung und Planung von ausführenden Firmen soll durchaus kritisch hinterfragt werden. Die Planung muss eine genaue Analyse des Standorts und die Anforderungen des Eigentümers beinhalten. Bei der Auswahl der Anlagenkomponenten muss mit großer Sorgfalt vorgegangen werden, und auch nach der Installation einer Anlage ist eine regelmäßige Wartung unverzichtbar, um die Leistungsfähigkeit aufrecht zu erhalten.

Wenn das Einfamilienhaus bereits in jungen Jahren errichtet wird, kann davon ausgegangen werden, dass es auch noch nach der Laufzeit von 25 Jahren bewohnt wird. Mit steigender Lebenserwartung sind Nutzungszeiten von 50 Jahren keine Seltenheit. Bei zunehmender Laufzeit einer Anlage werden die ursprünglichen Investitionskosten dadurch zunehmend nebensächlich. Auch wenn über längere Zeiträume zusätzlich größere Instandhaltungsarbeiten oder Ersatzinvestitionen einzukalkulieren sind, so werden die laufenden Kosten und die Preissteigerungen ausschlaggebend sein.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine Wirtschaftlichkeitsanalyse über den Einsatz von regenerativen Energien zu erstellen. Anhand der durchgeführten Berechnungen konnte gezeigt werden, dass der Einsatz von regenerativen Energien zu empfehlen ist. Als vorteilhafteste Alternative wurde die Geothermieanlage identifiziert, welche aufgrund der Erkenntnisse dieser Arbeit als favorisiertes Heizsystem bei der Errichtung des Einfamilienhauses gilt. Die zusätzliche Kombination der Anlage mit Solarthermie kann ebenfalls in Erwägung gezogen werden, da diese den Berechnungen nach auf lange Sicht zu Kostenersparnissen führt. Die Installation einer Photovoltaikanlage wird in Betracht gezogen und im Rahmen des Bauvorhabens berücksichtigt. Mit der endgültigen Anschaffung wird jedoch noch etwas zugewartet und der Markt für Lithium Speichersysteme beobachtet.

Abschließend lässt sich festhalten, dass das Ziel der Arbeit erreicht wurde und die Analyse ein aussagekräftiges Resultat über die zu erwartenden Kosten erbracht hat. Durch die durchgeführten Berechnungen und die daraus entstandenen Ergebnisse kann aus den verglichenen Investitionsmöglichkeiten die kostengünstigste Alternative ausgewählt werden.

### 7.3 Ausblick

Die in der Arbeit behandelten Energiesysteme stellen bei weitem noch nicht alle Möglichkeiten des Einsatzes von regenerativen Energiesystemen in Einfamilienhäusern dar. Eine weitere Möglichkeit wäre die Integration einer Brennstoffzelle, die mit Wasserstoff betrieben wird und neben Strom auch Wärme erzeugt. Erste Geräte haben erst kürzlich Marktreife erlangt und sind bereits in ersten Eigenheimen im Einsatz. Der größte Hemmschuh dieser Technologie ist jedoch das hohe Kostenniveau.<sup>151</sup>

Die derzeitige Entwicklungsphase im Energiesektor wird deutlich durch eine Umorientierung von fossilen Energieträgern zu erneuerbaren Energien geprägt. Dieser Fortschritt wird jedoch durch die Tatsache abgeschwächt, dass gleichzeitig noch sehr viel in konventionelle Energietechnik investiert wird. Eine Umorientierung kann nicht von heute auf morgen stattfinden, vielmehr handelt es sich um einen langwierigen Reifeprozess, der sich über Jahrzehnte erstrecken kann. Die Europäische Kommission legte als EU-weites rechtlich bindendes Ziel die Steigerung des Anteils der erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2020 auf 20 % fest. In Österreich soll der Anteil auf 34 % erhöht werden.<sup>152</sup>

Vor allem die Energieeffizienz muss deutlich gesteigert werden. Grundsätzlich bieten sich mit Hilfe der beschriebenen neuen Energietechniken zahlreiche Optionen an, um im Bereich der Wärme- und Stromversorgung von Einfamilienhäusern effizient wirtschaften zu können. Die Gestaltung energieeffizienter Gebäude mit integrierter Nutzung erneuerbarer Energiequellen sind ein wichtiger Schritt zur Bildung eines nachhaltigen Energiesystems mit einer Reduzierung der Treibhausgasemissionen, Verbesserung der Versorgungssicherheit und deutlichen Steigerung der Energieeffizienz. Das langfristige Ziel ist es, die Energieverbraucher zu Produzenten bzw. Lieferanten von Energie zu machen.

In Zukunft wird es also von großer Bedeutung sein, inwiefern technische, soziale, ökologische, ökonomische und politische Rahmenbedingungen für eine nachhaltige Inanspruchnahme der erneuerbaren Energieressourcen geschaffen werden, und wie sich die verschiedenen Akteure auf diese einstellen.

---

<sup>151</sup> Vgl. Geitmann (2013), S.10.

<sup>152</sup> Vgl. URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/erneuerbare/> (Zugriff: 26.05.2013).

## Literaturverzeichnis

### Bücher:

Becker, Hans Paul

Investition und Finanzierung, Gabler Verlag, Wiesbaden, 5. Überarbeitete und erweiterte Aufl. 2012

Bonin, Hans

Handbuch Wärmepumpen, Beuth Verlag, Berlin, 2012

Hutzschenreuter, Thomas

Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Grundlagen mit zahlreichen Praxisbeispielen, Gabler Verlag, Wiesbaden, 3. Aufl. 2009

Jung, Hans

Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Oldenbourg Verlag, München, 2009

Kaltschmitt, Martin; Streicher, Wolfgang

Regenerative Energien in Österreich, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2009

Mensch, Gerhard

Investition: Investitionsrechnung in der Planung und Beurteilung von Investitionen, Oldenbourg Verlag, München, 2002

Peters, Sönke; Brühl Rolf; Stelling, Johannes N.

Betriebswirtschaftslehre, Oldenbourg Verlag, München, 12. durchgesehene Aufl. 2005

Quaschnig, Volker

Erneuerbare Energien und Klimaschutz, Hanser Verlag, München, 2. aktualisierte Aufl. 2010

Quaschnig, Volker

Regenerative Energiesysteme, Hanser Verlag, München, 8. aktualisierte u. erweiterte Aufl. 2013

Scherwenke, Frank

Versorgung eines Einfamilienhauses auf der Basis regenerativer Energien, VDM Verlag, Saarbrücken, 2008

Schlabbach, Jürgen; Drescher, Sabine; Kley, Christian

Erdwärme in Ein- und Mehrfamilienhäusern, VDE Verlag, Berlin, 2012

Stelling, Johannes N.

Kostenmanagement und Controlling, Oldenbourg Verlag, München, 3. unveränderte Aufl. 2009

Watter, Holger

Regenerative Energiesysteme, Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden, 2. erweiterte Aufl. 2011

Internetquellen:

Ausrichtung der Kollektoren

URL: <http://www.elektro-hirschvogel.de/247.html> (Zugriff: 20.04.2013)

Bodenbeschaffenheiten des Standorts

URL: <https://kunden.bmlfuw.lfrz.at> (Zugriff: 02.02.2013)

Brennholz

URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Brennholz> (Zugriff: 08.05.2013)

Brennholzpreise / Kaminholz Preise

URL: <http://brennholzpreise.de/kaminholz-preise-im-chart-und-tabelle> (Zugriff: 07.05.2013)

Der Holzpellet-Preis-Index, Graphiken

URL: <http://www.carmen-ev.de/infothek/preisindizes/holzpellets/graphiken> (Zugriff: 09.05.2013)

Die Eigenstromzulage: Informationen und Hintergründe zum Solarstrom-Eigenverbrauch

URL: <http://www.sma.de/loesungen/medium-power-solutions/expertenwissen/die-eigenstromzulage.html> (Zugriff: 02.05.2013)

Die Pelletheizung

URL: <http://www.heizungsfinder.de/pelletheizung/betrieb/heizen> (Zugriff: 09.05.2013)

Dimensionierungsrichtlinien für Solarenergie

URL: <http://www.bramac-solar.at/fuer-profis/dimensionierung.html> (Zugriff: 21.04.2013)

Erdwärmeheizung: Auslegung des Erdkollektors

URL: <http://www.energiesparhaus.at/energie/wp-erdkollektor1.htm> (Zugriff: 04.02.2013)

Erneuerbare Energieträger

URL: <http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/energie/erneuerbare/> (Zugriff: 26.05.2013)

Ertrag einer Photovoltaikanlage im Winter

URL: <http://www.solaranlagen-portal.com/photovoltaik/elektroheizung/ertrag-im-winter> (Zugriff: 30.04.2013)

Energiepreise in Deutschland im Vergleich

URL: <http://www.energieagentur.nrw.de/infografik/grafik.asp?TopCatID=3106&CatID=3131&RubrikID=3131> (Zugriff: 09.05.2013)

Ermittlung des Ertrags einer Photovoltaikanlage an einem bestimmten Standort

URL: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=de&map=europe> (Zugriff: 01.05.2013)

Gaspreise in Österreich

URL: <http://www.e-control.at/de/konsumenten/gas/der-gaspreis/gaspreis-monitor> (Zugriff: 12.05.2013)

Gley

URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Gley> (Zugriff: 03.02.2013)

Hackgut- und Pelletheizung KWB Multifire USV D 15

URL: [http://www.jenni.ch/pdf/KWB\\_Preisliste.pdf](http://www.jenni.ch/pdf/KWB_Preisliste.pdf) (Zugriff: 23.05.2013)

Hackschnitzelpreise

URL: <http://www.kaminholz-wissen.de/holz-hackschnitzel-preise.php> (Zugriff: 08.05.2013)

Heizölpreise für Österreich

URL: <http://www.heizoel24.at/tagespreis-direkt/6/3000/1> (Zugriff: 12.05.2013)

Heizwert (Energieinhalt) von Brennstoffen

URL: <http://www.energiesparhaus.at/fachbegriffe/heizwert.htm> (Zugriff: 19.05.2013)

Holzheizungen

URL: <http://www.haustech-wachter.ch/holzheizungen.html> (Zugriff: 30.05.2013)

Holztrocknung

URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Holztrocknung> (Zugriff: 06.05.2013)

Kollektorfläche und solarer Deckungsgrad

URL: [http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Solar\\_Solarer-Deckungsgrad\\_165858.html](http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Solar_Solarer-Deckungsgrad_165858.html) (Zugriff: 21.04.2013)

Kostenaufstellung Wärmepumpe

URL: <http://www.erdwaermepumpe.at/03kosten.php> (Zugriff: 06.02.2013)

Laufende Kosten von Photovoltaik-Anlagen

URL: <http://www.rechnerphotovoltaik.de/pv/photovoltaik-wirtschaftlichkeit/laufende-kosten/> (Zugriff: 21.05.2013)

Marktübersicht Solarspeicher

URL: <http://www.leitfaden-nahwaerme.de/pdfs/Kombi.pdf> (Zugriff: 22.04.2013)

Methoden der Investitionsrechnung

URL: <http://www.teialehrbuch.de/Kostenlose-Kurse/Finanzmanagement/32009-Methoden-der-Investitionsrechnung.html> (Zugriff: 09.02.2013)

Netzgekoppelte Anlage

URL: <http://www.solektro.de/cms/solarstrom/netzgekoppelte-anlage> (Zugriff: 27.04.2013)

Niedrigenergiehaus

URL: <http://www.energiesparhaus.at/gebaeudehuelle/neh.htm> (Zugriff: 04.02.2013)

Österreichische Investitionsförderung für Private Anlagen

URL: <http://www.pvaustria.at/content/page.asp?id=70> (Zugriff: 28.04.2013)

Pelletkessel PK 15 von KÜNZEL

URL: <http://www.gemashop.de/heizungsprodukte/pelletkessel/kuenzel-pelletkessel-pk-bis-20-kw.php> (Zugriff: 22.05.2013)

Pelletspreise

URL: <http://kaernten.arbeiterkammer.at/online/pelletspreise-im-april-41939.html> (Zugriff: 07.05.2013)

Photovoltaik Einspeisevergütung

URL: <http://www.photovoltaik.org/foerderung/einspeiseverguetung> (Zugriff: 28.04.2013)

Photovoltaikeinspeisetarifrechner

URL: <http://www.aee-salzburg.at/werkzeug/pv-rechner/> (Zugriff: 29.04.2013)

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

URL: <http://www.photovoltaik.org/wissen/pvgis> (Zugriff: 01.05.2013)

Preisunterschied Flachkollektoren

URL: <http://www.heizfaktor.de/solar> (Zugriff: 21.04.2013)

Qualifikation zum/r Energieberater/in TGA

URL: [http://www.energieberaterkurs.de/export/sites/default/de/Dateien\\_Kennwerte/kennwerte\\_verteilnetze.pdf](http://www.energieberaterkurs.de/export/sites/default/de/Dateien_Kennwerte/kennwerte_verteilnetze.pdf) (Zugriff: 21.04.2013)

Rekordjahr für Photovoltaik in Österreich

URL: <http://www.photovoltaik.org/news/international/rekordjahr-fuer-photovoltaik-oesterreich-1213714> (Zugriff: 29.04.2013)

Schema einer Photovoltaik-Inselanlage

URL: <http://www.solar-verein.de/html/insel-pv.html> (Zugriff: 27.04.2013)

Temperaturabhängiges Kennlinienfeld eines Solarmoduls

URL: [http://www.sfv.de/lokal/emails/wvf/wenn\\_es\\_.htm](http://www.sfv.de/lokal/emails/wvf/wenn_es_.htm) (Zugriff: 25.04.2013)

Solarenergietechnik

URL: <http://www.fys-online.de/wissen/ph/solar.htm> (Zugriff: 21.04.2013)

Solarer Deckungsgrad

URL: <http://www.umweltdatenbank.de/cms/lexikon/lexikon-s/1754-solarer-deckungsgrad.html> (Zugriff: 21.04.2013)

Solarmodul Bosch c-Si M60 245 3BB mono

URL: <http://www.photovoltaik-shop.com/solarmodul-bosch-c-si-m60-245-3bb-mono.html> (Zugriff: 01.05.2013)

Solarthermie Betriebskosten

URL: <http://www.solaranlage-ratgeber.de/solarthermie/solarthermie-wirtschaftlichkeit/solarthermie-betriebskosten> (Zugriff: 19.05.2013)

Speicherlösungen Lithium

URL: <http://www.photovoltaik-web.de/batteriesysteme-akkusysteme-pv/hersteller-speicherloesungen/ac-lithium.html> (Zugriff: 03.05.2013)

Strompreise in Österreich

URL: <http://www.e-control.at/de/konsumenten/strom/strompreis/strompreis-monitor> (Zugriff: 12.05.2013)

Systemnutzungsgrad

URL: <http://www.solarthermie.net/wissen/systemnutzungsgrad> (Zugriff: 22.04.2013)

Systemnutzungsgrad

URL: <http://www.sbz-monteur.de/2011/03/04/erklar-mal-systemnutzungsgrad/> (Zugriff: 21.04.2013)

Tagesablauf eines Stromspeichers

URL: <http://www.heise.de/tr/artikel/Sonne-einkellern-1285142.html?view=zoom;zoom=1> (Zugriff: 29.04.2013)

Vakuum-Röhrenkollektor: Effizienz mit perfekter Optik

URL: <http://www.hark.de/produkte/zubehoer/erneuerbare-energien/vakuum-roehrenkollektor-effizienz-mit-perfekter-optik.html> (Zugriff: 11.05.2013)

Vaillant electronic VED /7 Durchlauferhitzer elektronisch gesteuert

URL: <http://www.unidomo.eu/warmwasser-speicher/rotex-hybridcube-hyc-343-19-0-kunststoff-warmwasserspeicher/a-27409/> (Zugriff: 06.02.2013)

Vaillant ecoTEC VC126/3-5 Gasbrennwerttherme/Brennwertgastherme 5-15 kW Erdgas E

URL: <http://www.unidomo.eu/gas-brennwert/vaillant-ecotec-plus-vc-126-3-5-gasbrennwerttherme-brennwertgastherme-5-15-kw/a-15762/> (Zugriff: 06.02.2013)

Vaillant uniSTOR VIH-R 300 Liter Warmwasserspeicher

URL: <http://www.unidomo.eu/warmwasser-speicher/vaillant-unistor-vih-r-300-liter-warmwasserspeicher/a-15712/> (Zugriff: 06.02.2013)

VISSMANN Vitocal 200-G 13,0 KW Sole/Wasser Wärmepumpe I

URL: <http://www.waermepumpenshop.com/viessmann-vitocal-200-g-13-0-kw-sole-wasser-waermepumpe-i.html> (Zugriff: 06.02.2013)

Warmwasserbereitung

URL: <http://www.esv.or.at/bauen-wohnen/warmwasser-heizen/warmwasserbereitung/> (Zugriff: 20.04.2013)

Wartung von Pelletheizungen

URL: <http://www.pelletheizung-infos.de/index.php/wartung-und-service> (Zugriff: 23.05.2013)

Wärmepumpe mit Photovoltaik betreiben

URL: <http://www.heizungsfinder.de/waermepumpe/photovoltaik/pv-anlage-hinzukaufen> (Zugriff: 29.05.2013)

Wolf Hochleistungs-Sonnenkollektor F3-1 Hochkant

URL: <http://www.heizfaktor.de/solar/flachkollektoren/wolf/1302/wolf-hochleistungs-sonnenkollektor-f3-1-hochkant?c=252> (Zugriff: 22.04.2013)

Wolf Schichtenspeicher BSP 1000

URL: <http://www.heizfaktor.de/heizung/speicher/wolf/1288/wolf-schichtenspeicher-bsp-1000?c=249> (Zugriff: 22.04.2013)

Wolf COB-15 ComfortLine Ölbrennwertheizung / Brennwertölkessel

URL: [http://www.unidomo.eu/oel-brennwert/wolf-cob-15-comfortline-oelbrennwertheizung-brennwertoelekessel/a-21093/?utm\\_expid=33252204-0&utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.at%2F](http://www.unidomo.eu/oel-brennwert/wolf-cob-15-comfortline-oelbrennwertheizung-brennwertoelekessel/a-21093/?utm_expid=33252204-0&utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.at%2F) (Zugriff: 06.02.2013)

#### Richtlinien:

VDI Richtlinie: Thermische Nutzung des Untergrundes - Erdgekoppelte Wärmepumpenanlagen VDI 4640 Blatt 2, Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2001

VDI Richtlinie: Thermische Nutzung des Untergrundes - Grundlagen, Genehmigungen, Umweltaspekte VDI 4640 Blatt 1, Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2010

VDI Richtlinie: Betreiben von Raumluftechnischen Anlagen VDI 3801 Blatt 1, Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2000

VDI Richtlinie: Wirtschaftlichkeit gebäudetechnischer Anlagen - Grundlagen und Kostenberechnung VDI 2067 Blatt 1, Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure, 2012

#### Fachzeitschriften:

Geitmann, Sven: BZ-Heizgeräte brauchen Unterstützung.  
In: HZwei, 2013, Nr. 2, S.10-11

Hartmann, Frank: Alle Erneuerbaren unter einem Dach.  
In: IKZ ENERGY, 2013, Nr. 3, S. 6-7

Janzing, Bernward: Auf die Zukunft noch nicht vorbereitet.  
In: neue energie, 2013, Nr. 4, S. 66-73

Röpcke, Ina: Eigenverbrauch spart Kosten.  
In: joule, 2013, Nr. 2, S. 93-95

Schwarzburger, Heiko: Schalten und walten.  
In: ERNEUERBARE ENERGIEN, 2013, Nr. 4, S. 63-65

Wilming Wilhelm: Wasser, Eis und Siedestein.  
In: SONNE WIND & WÄRME, 2013, Nr. 5, S. 100-101



## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Pyhra, 17. Juni 2013

Michael Lahner